

C. CELSO DE BRASIL CAMARGO

**GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA: METODO-  
LOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CON-  
SERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE CONSUMIDORES  
RESIDENCIAIS**

Tese de Doutorado junto ao  
Programa de Pós-graduação  
em Engenharia de Produção  
da Universidade Federal de  
Santa Catarina.



0.257.248-3



UFSC-BU

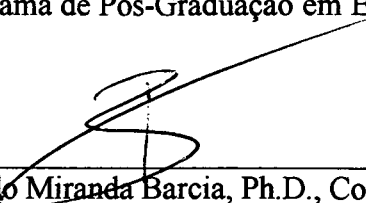
Florianópolis, SC

Outubro de 1996

**C. CELSO DE BRASIL CAMARGO**


**GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA: METODOLOGIA  
PARA IDENTIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor, especialidade em Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

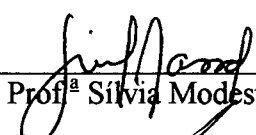
  
Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D., Coordenador

**Banca Examinadora:**

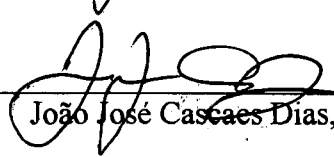
  
Prof. Cristiano José C. A. Cunha, Dr., Orientador

  
Prof. Hans Helmut Zurn, Ph.D., Moderador

  
Prof. Edvaldo Alves de Santana, Dr., Membro

  
Prof.ª Sílvia Modesto Nassar, Dr.ª, Membro

  
Prof. Edgar Pereira, Ph.D., Membro

  
João José Cascaes Dias, Dr., Membro

**A Lys Nóbrega de Brasil Camargo**

( In memoriam)

## AGRADECIMENTOS

- Ao Professor, Dr. Cristiano José C. A. Cunha, pela orientação recebida durante a realização do trabalho.

- À CELESC, Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A., em especial ao Administrador Hercílio Fernandes Neto e sua equipe, pelo apoio e o pronto atendimento às nossas solicitações, sem as quais este trabalho não teria sido possível.

- À ELETROSUL, Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A., em particular ao Engenheiro Edgard Lee Gorham e profissionais da área de conservação de energia da Diretoria de Produção, pelo apoio recebido durante a fase de emissão e recebimento dos questionários.

Aos colegas do LABPLAN, Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica, do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC, pelo incentivo, amizade e apoio fornecido durante a realização desta pesquisa.

Ao Professor Carlos Raul Borenstein, companheiro de viagem, pelo apoio, amizade e pelas inúmeras sugestões feitas durante o trabalho.

À Professora Dr.<sup>a</sup> Sílvia Modesto Nassar, pela amizade, incentivo, apoio computacional durante a fase de análise de dados e, também, pelas longas e estimulantes discussões sobre a aplicação da Estatística na pesquisa científica.

À Universidade Federal de Santa Catarina, em particular ao Departamento de Engenharia Elétrica, pelo suporte material e financeiro mantido durante a realização deste trabalho.

À minha família pelo incentivo, dedicação, encorajamento e, sobretudo, pelo muito que se privou durante a fase de realização desta tese.

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I - ENERGIA E SOCIEDADE .....	1
1.1 Introdução; objetivo da pesquisa.....	1
1.2 O valor econômico da energia .....	5
1.2.1 O custo do não suprimento de energia elétrica .....	6
1.3 Impactos sociais e ambientais dos grandes empreendimen- tos da geração e transmissão de energia elétrica .....	11
1.4 O controle das empresas de energia elétrica pela sociedade.....	14
1.5 Resumo .....	17
 CAPÍTULO II - O PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS ELÉTRI- COS DE POTÊNCIA .....	18
2.1 Introdução: evolução do planejamento elétrico brasileiro .....	18
2.1.1 Introdução .....	18
2.1.2 Evolução metodológica do planejamento elétrico brasi- leiro .....	20
2.2 O planejamento sob condições de incerteza .....	23
2.3 O planejamento elétrico brasileiro e o novo ambiente .....	27
2.3.1 O novo ambiente de planejamento .....	27
2.3.2 Um novo enfoque para o planejamento .....	28
2.4 Planejamento integrado de recursos: uma visão metodológica .....	30

2.4.1 Um modelo para o planejamento integrado de recursos	
usando programação matemática .....	32
2.5 Resumo .....	34
 CAPÍTULO III - GERÊNCIA PELO LADO DA DEMANDA .....	35
3.1 Introdução .....	35
3.2 Critérios para implementação de programas de GLD .....	36
3.3 Impactos de programas de GLD .....	38
3.3.1 Impactos sobre a concessionária .....	38
3.3.2 Impactos sobre os consumidores .....	43
3.3.3 Impactos sobre a sociedade .....	45
3.4 Tipos de programas de GLD .....	45
3.4.1 Controle direto da carga do consumidor .....	48
3.4.2 Incentivos tarifários em programas de GLD .....	50
3.4.2.1 Tarifas variáveis no tempo .....	51
3.4.2.2 Tarificação em tempo real .....	55
3.4.3 Serviço com qualidade diferenciada .....	58

3.5 Implementação de programas de GLD .....	62
3.6 Experiência de alguns países no uso de programas de GLD.....	64
3.6.1 A experiência da França em programas de GLD .....	65
3.6.2 A experiência dos EUA em programas de GLD .....	67
3.6.3 A experiência do Brasil em programas de GLD .....	69
3.7 Resumo .....	72

## CAPÍTULO IV - RESPOSTA DO CONSUMIDOR

FRENTE A PROGRAMAS DE GLD .....	73
4.1 Introdução .....	73
4.2 Uma visão global sobre a pesquisa de consumo de ener- gia .....	76
4.3 A conscientização e o consumo de energia elétrica .....	78
4.4 Reações dos consumidores frente a interrupções no fornecimento de energia .....	81
4.5 Resposta de consumidores à tarifas variáveis no tempo.....	86
4.6 Resumo .....	98

CAPÍTULO V - PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA PESQUISA.....	100
5.1 Introdução.- Metodologia para identificação do poten- cial de conservação .....	100
5.2 Análise crítica das metodologias.....	101
5.3 O consumo residencial de energia elétrica em Santa Catarina .....	102
5.4 Planejamento da Pesquisa .....	105
5.4.1 Seleção aleatória de consumidores .....	105
5.4.2 Coleta de dados via questionário enviado pelo correio.....	107
5.4.2.1 Organização do questionário .....	109
5.4.3 Recebimento e análise dos dados .....	112
5.4.4 Hipóteses a serem testadas .....	113
5.5 Execução da Pesquisa .....	114
5.6 Recebimento dos questionários.....	116
5.7 Resumo .....	119



CAPÍTULO VI - ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS .....	122
6.1 Introdução .....	122
6.2 Categorização dos dados .....	123
6.3 Tabulação e sumarização dos dados categorizados.....	124
6.4 Procedimentos para o teste das hipóteses.....	130
6.5 Determinação do número de fatores no caso geral.....	131
6.6 Correlações entre os agrupamentos de variáveis .....	138
6.7 Determinação dos escores fatoriais.....	140
6.8 Teste das hipóteses.....	140
6.8.1 Teste da hipótese 1 .....	140
6.8.2 Teste da hipótese 2 .....	143
6.8.3 Teste da hipótese 3 .....	144
6.8.4 Teste da hipótese 4 .....	145
6.8.5 Teste da hipótese 5 .....	149
6.9 Resumo.....	151

CAPÍTULO VII - CONCLUSÕES DA PESQUISA .....	153
7.1 Resumo do trabalho .....	153
7.2 Conclusões da pesquisa .....	155
7.3 Recomendações .....	162
 APÊNDICE I - GLOSSÁRIO .....	 164
AI.1 Introdução .....	164
AI.2 Apresentação dos conceitos e definições .....	164
 APÊNDICE II - ASPECTOS BÁSICOS DE ANÁLISE FATORIAL .....	 172
AII.1 Introdução .....	172
AII.2 Confiabilidade e Validade em análise fatorial .....	174
AII.3 Representação geométrica da análise fatorial .....	178
AII.4 Formulação matemática da análise fatorial .....	179
AII.5 O método das componentes principais .....	182
AII.6 Rotação dos fatores .....	185
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	 188

## RESUMO

O desenvolvimento da sociedade moderna está centrado em torno da energia, em particular no uso da energia elétrica. As crescentes restrições de ordem financeira, social e ecológica, que dificultam a construção de novas usinas e linhas de transmissão de potência elétrica, têm acarretado a inclusão das técnicas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) nos estudos de planejamento dos sistemas elétricos, o chamado "planejamento a custo mínimo" ou "planejamento integrado de recursos".

Tendo em vista a possibilidade do emprego de programas de GLD no setor residencial brasileiro, a curto e médio prazo, a presente pesquisa desenvolveu uma metodologia para identificar o potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores residenciais. Esta metodologia foi aplicada no Estado de Santa Catarina, visando a posterior instalação de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda no Estado. O programa de conservação escolhido neste projeto deverá moldar a curva de carga segundo objetivos determinados e ainda prestar novos serviços aos clientes.

Neste sentido selecionaram-se, aleatoriamente, mil consumidores catarinenses, das regiões de Florianópolis, S. José, Joinville e Blumenau, aos quais foram enviados questionários contendo questões alusivas à problemática da conservação de energia e sobre dados sócio-econômicos destes consumidores.

Os consumidores foram classificados segundo a região aonde moravam, nível de escolaridade, nível de consumo mensal de energia elétrica e também pelo nível de renda familiar, objetivando comparar nossos resultados com aqueles de estudos similares realizados no exterior, principalmente nos Estados Unidos da América. Tais comparações foram realizadas por meio de testes de hipóteses previamente estabelecidas.

Obtendo um índice de devolução dos questionários da ordem de 45%, bastante significativo em estudos deste tipo, foi possível analisar os dados recebidos e, empregando técnicas estatísticas de análise multivariada, testar as hipóteses estabelecidas.

Os resultados obtidos não corroboram, em sua maior parte, aqueles obtidos nos EUA, notadamente no que se referem à influência da renda familiar, nível de escolaridade e consumo mensal de energia elétrica no engajamento de consumidores em programas de conservação de energia elétrica.

Finalmente, como subsídio à futura realização de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda no Estado de Santa Catarina, foi possível identificar, com o auxílio da metodologia desenvolvida, os consumidores mais indicados para participarem deste projeto. Para a faixa de consumo entre 200 e 500 kWh mensais recomendamos consumidores da região de Joinville-Blumenau e, acima de 500 kWh, consumidores da região de Florianópolis e São José.

## ABSTRACT

The development of our society is centered about the use of energy, particularly around the use of electrical energy. The increasing financials, social and ecologicals restraints difficulting the construction of new power plants and transmission lines, imposes the use of demand side management techniques (DSM) in electrical power systems planning studies, the so called "least cost planning" or "integrated resource planning".

Having in mind the possibility of adopting DSM programs in Brazil with residential customers in the near future, a research plan is proposed, in order to get insight on how to identify the potential to save electrical energy of residential customers of Santa Catarina, in order to design a pilot program in our state. The DSM program should be able to achieve load shape objectives while simultaneously provide valuable new services to costumers

As such, this work has selected, randomly, a thousand of costumers in S. Catarina in the cities of Joinville, Blumenau, S. José and Florianópolis and we send to these costumers, by mail, questionnaires with statements such as energy conservation, power plant construction, the possibility of an energy crisis, social/environmental/political conciousness and social/economical household characteristics.

The costumers were defined by the bounds of residential electricity metering, that is, level of consumption of electical energy, education level, familiar income and region. Our aim was to compare ours results with those obtained by similar studies in others countries, mainly in the USA. This comparison was made by means of hypoteses tests.

420 questionnaires were returned, a very significant sample of respondents in a survey like this. It was thus possible to analyse the data and, with the help of multivariate statistical analysis, test the hypotheses previously stated.

The results thus obtained does not agree, in its majority, with the findings of similar studies abroad, particularly regarding the influence of education level, familar income and costumers level of consumption, on the attitudes of consumers to save energy.

Finally, as a contribution to a future pilot program of DSM in Santa Catarina, as is our hope, we identified with the help of the methodology, the consumers best suited to participate of this program. In the range of consumption of 200-500 kWh per month we recommend customers of the Joinville-Blumenau region, and above 500 kWh we recommend consumers of the Florianópolis-S. José region.

# **CAPÍTULO I**

## **ENERGIA E SOCIEDADE**

### **1.1 Introdução; objetivo da pesquisa**

A disponibilidade de energia é um fator fundamental para o desenvolvimento das nações. Em um mundo altamente competitivo e submetido à globalização dos mercados, a energia passa a ser uma variável estratégica de desenvolvimento sobre a qual os planejadores podem e devem atuar no sentido de moldar o estilo de crescimento pretendido.

A escolha deste estilo certamente terá implicações no sistema de produção de energia, pois esta se encontra presente em todos os aspectos do consumo final individual e coletivo, e também como importante fator de produção em todos os setores.

A elaboração de uma estratégia, tanto no âmbito global como nos setores relacionados à agricultura, à indústria, aos transportes, à habitação e aos serviços, influenciará a situação energética de um dado país (AIE/COPPE, 1986). Segundo esta referência, a energia nos países em desenvolvimento se caracteriza pelos seguintes aspectos:

- Baixo nível de consumo por habitante em relação as energias convencionais, menos de 1 tonelada equivalente de petróleo (t.e.p.) por pessoa e por ano. À guisa de comparação os EUA consomem 8 t.e.p.; em alguns países da Ásia e África este valor chega a 0,2 t.e.p.

- O consumo de energia final por unidade do PNB (Produto Nacional Bruto) apresenta uma grande disparidade de um país a outro.

- Forte preponderância dos hidrocarbonetos nos sistemas energéticos.
- Importância das energias tradicionais (lenha, carvão vegetal, resíduos vegetais).
- Papel preponderante das grandes sociedades produtoras, nacionais ou estrangeiras, na elaboração dos sistemas energéticos e na escolha de políticas, sem que, no entanto, o poder público consiga coordenar adequadamente os subsetores envolvidos.
- Fragilidade dos sistemas de produção e de distribuição de energia, apresentando inúmeras falhas.
- Existência de disparidades regionais entre a oferta e a demanda de energia.

Nos países em desenvolvimento a demanda por energia é pressionada por vários fatores. O primeiro deles é o crescimento demográfico. A população mundial irá crescer dos atuais 5,7 bilhões de pessoas até alcançar 8 bilhões de habitantes por volta do ano 2020, com a Ásia e América Latina contribuindo com 60% deste contingente adicional (A survey of energy, The Economist, 10/6/94).

Outro fator é o processo de industrialização, à medida que as nações gradualmente passam a consumir querosene, carvão e outros tipos de energia comercial. Um terceiro ponto é o crescimento das grandes cidades, com a intrincada rede de necessidades energéticas dos conglomerados urbanos. A figura 1.1 mostra a expectativa de demanda de energia para o ano 2020 e a comparação com o consumo já efetivamente realizado em anos anteriores.

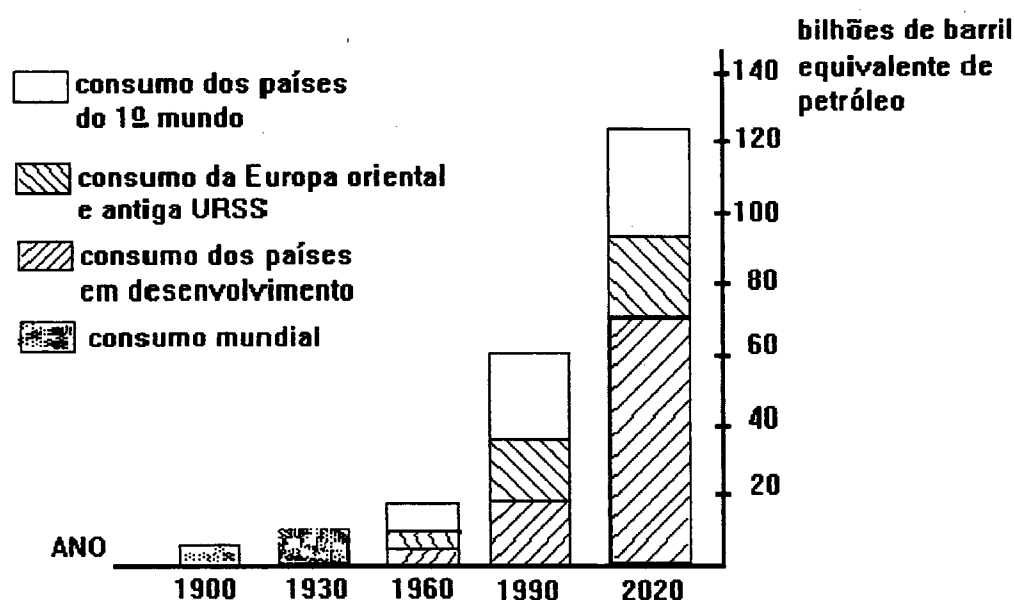


Fig. 1.1 - consumo de energia (Fonte: Conselho Mundial de Energia)

A figura 1.2 mostra o consumo de energia em 1991, em barris de petróleo equivalente per capita, para alguns países.

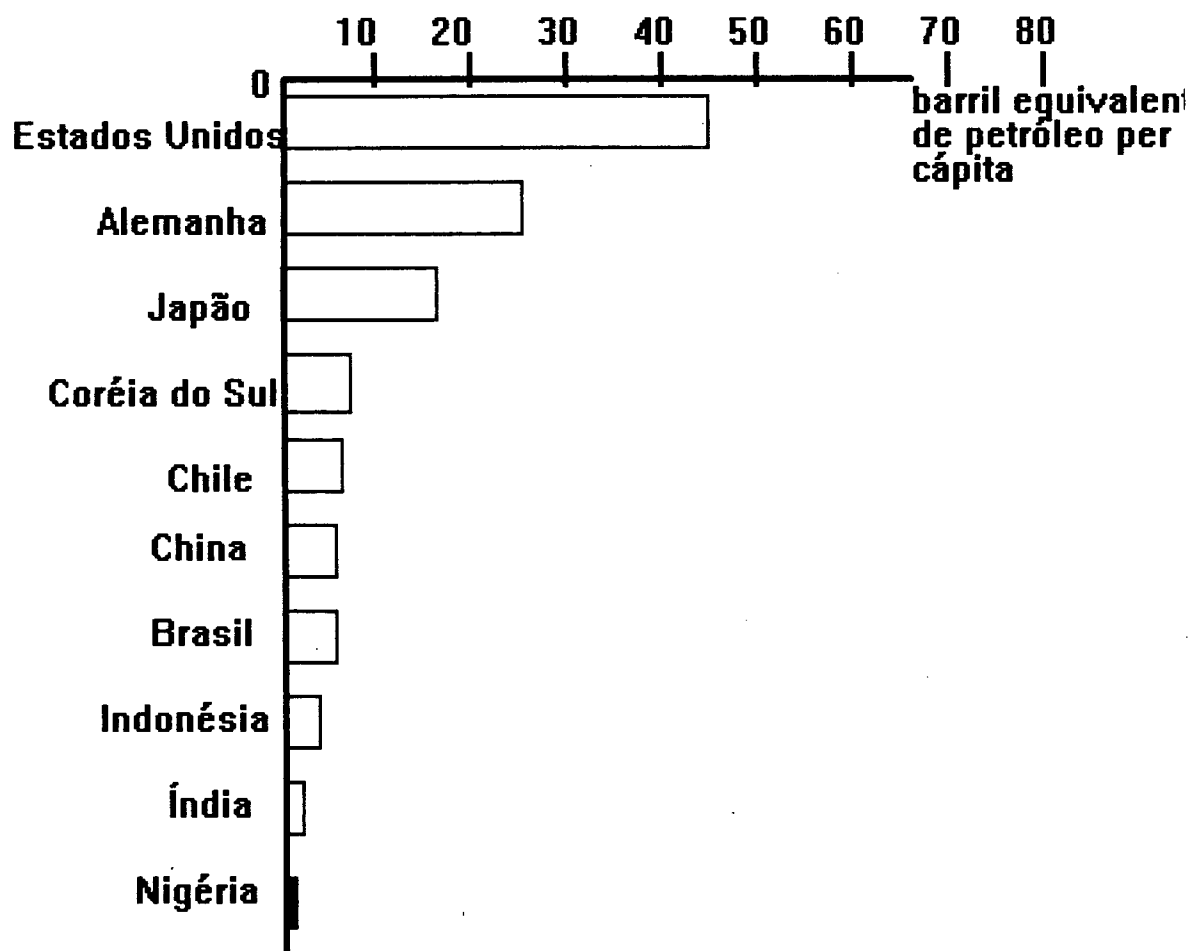


Fig. 1.2 - Consumo de energia de alguns países em 1991(Fonte: Nações Unidas).

No caso específico do consumo de energia elétrica, a figura 1.3 (Fonte: Banco Mundial) mostra o crescimento médio entre 1985-1991 e o seu relacionamento com o produto nacional bruto para diversos países.

De um modo geral, os combustíveis fósseis respondem por 75% das necessidades de energia do planeta. Os outros 25% são devidos a combustíveis tipo lenha e resíduos orgânicos. Nos meios de transporte o petróleo é soberano, contribuindo com 97% de todo o combustível usado no mundo. Só na produção de energia elétrica é que aparecem alternativas a este quadro, como as hidrelétricas (18% da produção) e as nucleares (17%).

No caso das alternativas ditas renováveis, como a energia solar e a energia eólica, elas respondem por menos de 1% das necessidades de energia elétrica em todo o mundo (**The battle for world power**, The Economist, 07/10/95).

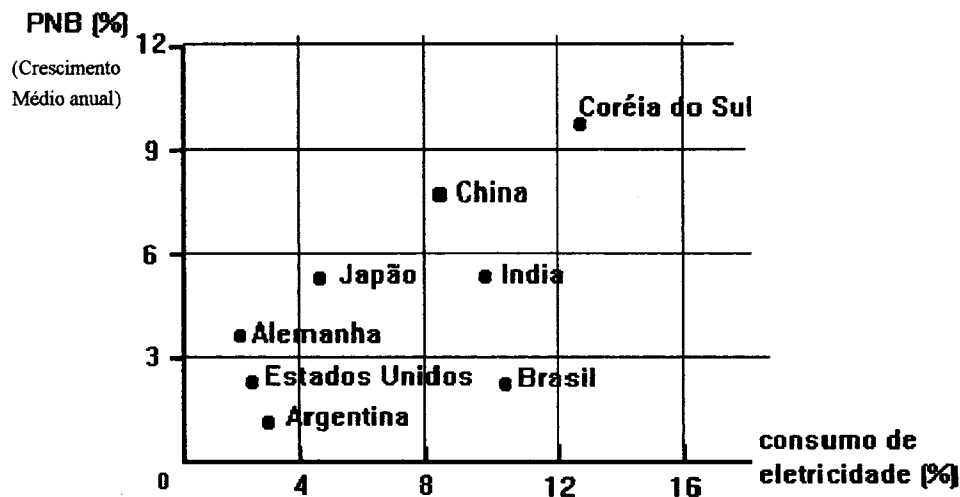


Fig. 1.3 - Associação entre o Consumo de eletricidade e o PNB entre 1985 - 1991  
(Fonte: Banco Mundial).

Ainda no campo da energia elétrica, o Banco Mundial estima que mais de um trilhão de dólares americanos deverá ser investido nos sistemas elétricos dos países em desenvolvimento na década de 90. O Conselho Mundial de Energia prevê que um terço dos investimentos em energia até o ano 2020 será em energia elétrica.

A necessidade de capital para expansão dos sistemas de energia elétrica gera pressões sobre os governos e sobre o sistema financeiro internacional. Majorar a capacidade elétrica instalada nos mercados emergentes e nos países em desenvolvimento irá requerer investimentos que excedem às possibilidades de financiamento dos órgãos de fomento no âmbito mundial, mesmo porque a energia elétrica não é o único setor da infraestrutura a demandar recursos. Em realidade, os órgãos de financiamento e os investidores irão privilegiar os projetos que oferecerem os melhores benefícios líquidos. Neste sentido, onde antes se consagrava o uso das estatais como instrumento de política social hoje se fala em eficiência.

No caso do Brasil, além das dificuldades enfrentadas para financiar novos empreendimentos no setor de energia elétrica, os crescentes movimentos sociais e ecológicos contra a construção de grandes obras de geração e transmissão de energia elétrica tornam claro que a qualidade no suprimento de energia elétrica vem se deteriorando paulatinamente, como tem alertado a imprensa em manchetes nos grandes jornais do país. Várias medidas já estão sendo tomadas pelo governo como forma de atenuar o problema e a antecipação do horário de verão é uma delas.

Paralelamente, o quadro é agravado pelo explosivo aumento na demanda, principalmente no setor residencial, face aos efeitos do Plano Real. Nas projeções de demanda efetua-



efetuadas pela ELETROBRÁS não foram levados em conta os efeitos do Plano Real. Segundo esta empresa, as projeções de demanda no sistema elétrico estavam relacionadas à evolução do PIB e entraram em descompasso no ano passado, quando o país mostrou os primeiros resultados na estabilidade econômica (Diário Catarinense, 07/8/96, p. 14). Em 1995, o PIB cresceu 4,2%, enquanto a demanda de energia elétrica subiu para 7,6%. No ano de 1996 a diferença tende a se acentuar, visto que os dados parciais até o momento indicam crescimento de 5,7% na demanda contra um crescimento do PIB entre 2,5 e 3%.

Fica claro, a partir do exposto, que novos caminhos tem que ser trilhados na questão energética, buscando incorporar ao planejamento do setor elétrico a nova realidade social, econômica e política do país, principalmente na necessidade de se buscar um uso mais eficiente da energia. Uma das novas possibilidades que se abrem para o planejamento do setor elétrico é o emprego do gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), buscando integrar efetivamente o consumidor no sentido de um uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Para este fim, métodos e procedimentos devem ser elaborados para avaliar o comportamento e atitudes dos consumidores frente à problemática da conservação da energia.

Balizados por este objetivo, especificamente no segmento residencial, **a presente pesquisa buscou criar uma metodologia que permitisse identificar o potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores residenciais em Santa Catarina.** A identificação deste potencial permite que seja sugerida à concessionária local de energia elétrica, CELESC, a realização de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda, empregando, por exemplo, tarifas variáveis no tempo. Esta identificação do potencial de conservação se dará a partir de levantamento de campo, sem manipulação de variáveis e buscando relacionar a conservação de energia com variáveis tipo nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo e região onde reside o consumidor, conforme detalhado no capítulo V.

## 1.2 O valor econômico da energia

A dependência crítica da economia moderna em relação a energia em suas diversas formas, salienta a necessidade de um uso mais racional e efetivo, por toda a sociedade, dos recursos energéticos, principalmente os não renováveis. Estas necessidades energéticas são satisfeitas pelas fontes comerciais tradicionais como os combustíveis fósseis tipo petróleo, carvão e gás, assim como pelas fontes renováveis tais como a energia hidrelétrica, a biomassa, a energia solar, eólica e a energia advinda do aproveitamento das marés.

O setor energético é parte integrante da macroeconomia, estruturando-se e se integrando aos diversos setores da economia, enfatizando a necessidade de usar os limitados recursos econômicos de modo a maximizar os benefícios líquidos do consumo da energia à sociedade como um todo, levando em consideração uma série de condicionantes. Restringindo-nos ao setor da energia elétrica, objeto de nosso interesse maior, a figura 1.4 evidencia os relacionamentos entre este setor, o setor agregado da energia e o resto da economia (Munasinghe, 1984).

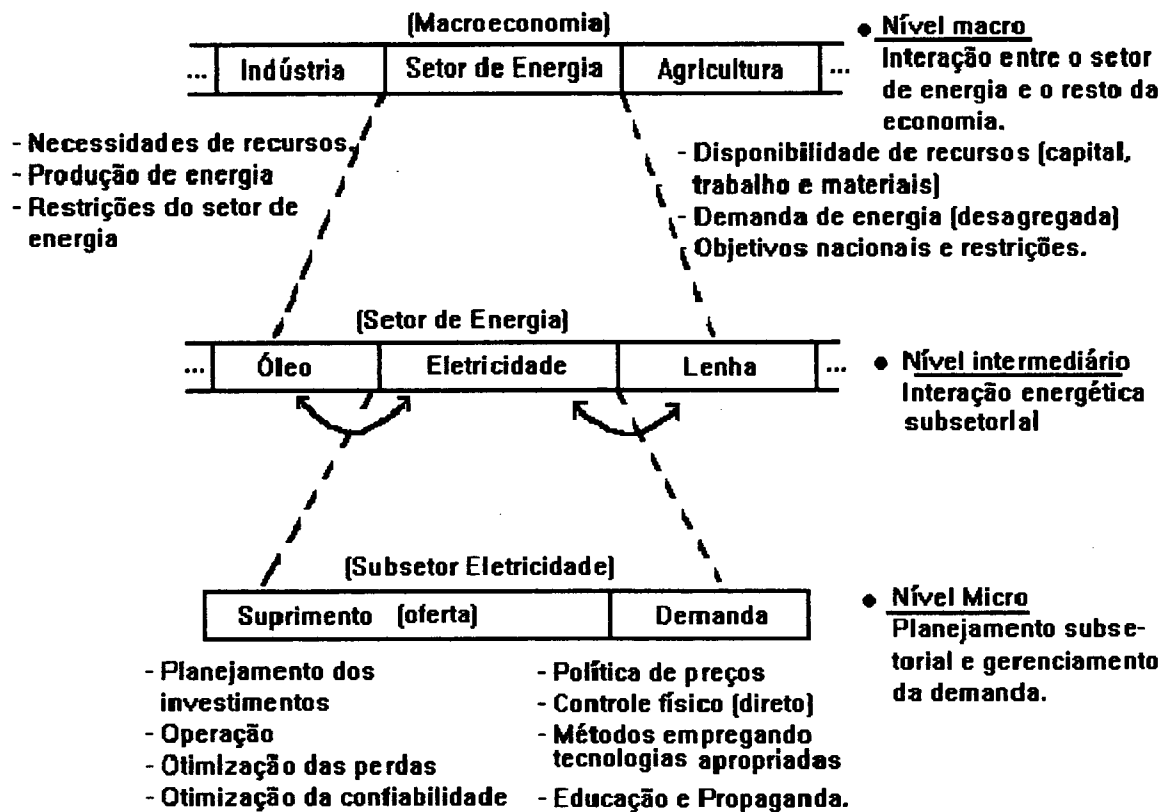


Fig. 1.4 - Hierarquia de interações e o papel da oferta e gerenciamento da demanda no subsetor eletricidade (Fonte: Munasinghe, 1980).

A questão econômica da área energética é usualmente estudada com o auxílio de modelos. A modelagem dos sistemas de energia pode ser entendida como a tarefa de formular modelos, direta ou indiretamente associados com o processo de tomada de decisão, focalizando a energia como um recurso econômico.

Os modelos energéticos diferem quanto à política à qual dão suporte (política de preços, uso de novas tecnologias, por exemplo), horizonte de planejamento (curto, médio ou longo prazo), pelo caráter normativo ou descritivo, pela metodologia e técnica (otimização, econometria, simulação), pelo aspecto geográfico (regional, nacional, global), etc.

Ao passo que os modelos industriais estudados na ciência do gerenciamento se apoiam maciçamente na microeconomia e nas ciências de engenharia, a modelagem da energia se ampara bastante na macroeconomia (Samouilidis, 1980), sendo tal fato mostrado na figura 1.5.

Adicionalmente os modelos de energia são maiores e mais complexos do que aqueles usados habitualmente para a tomada de decisão e, ao invés de serem empregados no âmbito interno a uma empresa, são geralmente auxiliares no processo de decisão pública.

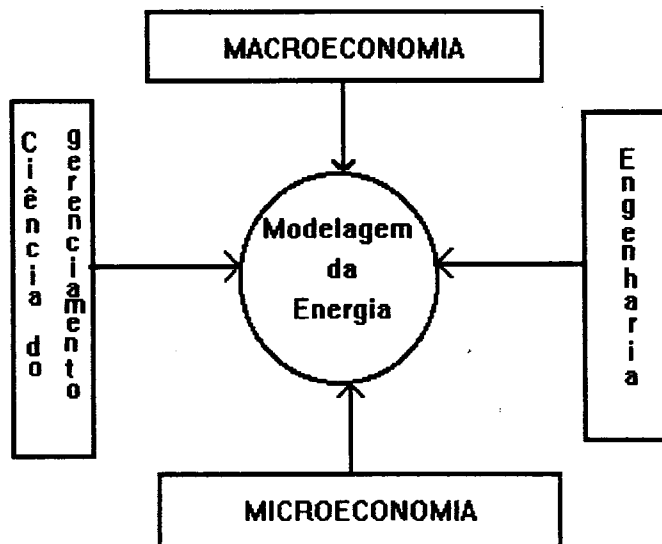


Fig. 1.5 - Modelagem da energia e as ciências de apoio (Samouilidis, 1980)

### 1.2.1 O Custo do não suprimento de energia elétrica

O valor econômico associado ao suprimento da energia elétrica está intimamente ligado à qualidade deste suprimento. A indústria da energia elétrica envolve a cooperação/interação entre usuários, fabricantes de equipamentos, concessionárias e centros de pesquisas, buscando construir, operar e manter sistemas elétricos que atendam às exigências da sociedade.

A qualidade no fornecimento da energia elétrica é função dos seguintes atributos (Camargo, 1992):

- Disponibilidade, ou seja, o fornecimento ininterrupto de energia na quantidade demandada pelo usuário.
- Conformidade, ou seja, o suprimento de uma energia limpa, com um mínimo de flutuações e de harmônicas.
- Restaurabilidade, isto é, a capacidade dos sistemas de energia elétrica de rapidamente restaurar o fornecimento, minimizando os tempos não-operativos.
- Flexibilidade, ou seja, a acomodação do sistema a mudanças, planejadas ou acidentais, em sua estrutura topológica e oriundas da inserção ou retiradas de elementos mediante manobras na rede elétrica.

O valor econômico da qualidade do suprimento de energia elétrica não é fácil de definir e muito menos de quantificar (Wacker e Billinton, 1989).

Considerando os aspectos públicos e sociais das empresas de energia elétrica em nosso meio, a "disposição a pagar" dos consumidores aparece mascarada, tendo estes encarado frequentemente o suprimento da energia elétrica mais como uma obrigação do governo, e não como uma atividade empresarial visando o lucro. Uma vez que a eletricidade é insumo básico nos processos de produção das nações modernas, parece razoável medir o custo econômico associado a baixos níveis de qualidade pelos seus efeitos sobre os vários segmentos atingidos.

Em seu sentido mais amplo, busca-se avaliar o custo para a sociedade da falta de qualidade no abastecimento de energia elétrica.

Os custos associados à interrupção no fornecimento serão diretos quando ocorrem durante ou seguindo-se a uma falha no abastecimento de energia e, serão indiretos, quando forem ocasionados pela "expectativa" de falha no suprimento.

Neste último caso, os consumidores se antecipam e mudam as estatísticas de consumo, hábitos e procedimentos, ou então adquirem equipamentos para fazer frente a interrupção no fornecimento, mediante a compra, por exemplo, de geradores à diesel.

Geralmente a maioria dos procedimentos para estimar o custo da falha no suprimento de energia elétrica aos consumidores emprega algum tipo de levantamento de campo, mediante entrevistas e questionários enviados aos usuários em análise. No setor industrial, por exemplo, os empresários devem responder a questões como (Subramanian et al. 1985):

- Danos aos equipamentos/instalações;
- Danos à matéria prima/ produto final;
- Custos de reinício de produção;
- Perdas na produção (durante a falha e no reinício);
- Horas-extras para recuperar a produção;
- Outros custos e efeitos (por exemplo, aquisição de equipamentos de emergência).

Normalmente os consumidores são agregados segundo o porte da indústria e tipo de produção. Tal procedimento permite o levantamento e obtenção de uma função, denominada "função de dano ao consumidor" e que define, para um segmento de consumidores, o custo total da falha em relação a duração da mesma, figura 1.6.

Esta curva, geralmente avaliada para um determinado segmento industrial, procura obter um relacionamento funcional entre o custo de uma falha no suprimento de energia elétrica a este ramo industrial e o tempo de duração desta falha. Normalmente pode ser obtida através de levantamentos de campo, como por exemplo, mediante entrevistas com empresários das indústrias em análise.

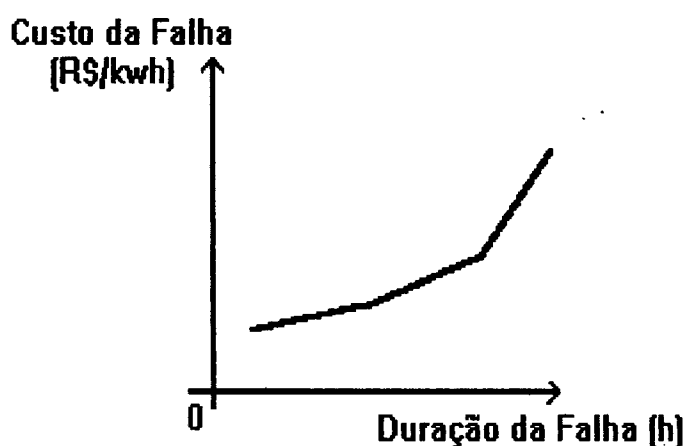


Fig. 1.6 - Função de dano ao consumidor

Os levantamentos de campo efetuados em diversos países mostram uma ampla variação nos custos da energia não suprida (Gorzelnik, 1982). A tabela 1.1, a seguir, mostra alguns valores obtidos em pesquisas realizadas (Sanghvi, 1982).

Tabela 1.1 - Valores do custo da falha obtidos em pesquisas.

País	Segmento de Consumo	Custo de Falha (US\$/kwh)
Reino Unido	Residencial	1,02
Suécia	Residencial	1,46

Brasil	Residencial (*)	1,95 - 3,00
Estados Unidos	Industrial	2,54
Reino Unido	Industrial	3,04
Brasil	Industrial (*)	1,50 - 7,12
Suécia	Industrial	1,44 - 2,96
Estados Unidos	Comercial	4,99
Reino Unido	Comercial	5,65

(\*) Para maiores detalhes ver Munasinghe, 1979.

Os resultados diferem basicamente face ao método empregado nos levantamentos, ao tipo de consumidor e carga pesquisada, a época do ano em que foram levantados os dados e ainda às características geográficas locais.

No Brasil, pesquisas mais recentes (Massaud e Hernandez, 1992), indicam valores entre 1,01 a 1,33 US\$/kWh para o setor residencial, 0,75 a 2,75 US\$/kWh para o segmento industrial e 1,00 a 5,5 US\$/kWh para o consumidor comercial, valores estes função do tempo máximo da interrupção.

Em um trabalho posterior destes autores (Massaud et al., 1994), são apresentados os resultados dos custos de interrupção no fornecimento de energia elétrica no Brasil, a metodologia empregada para o levantamento de campo e, à guisa de comparação, resultados de pesquisas semelhantes realizadas em outros países.

Foram ainda apresentadas, neste artigo, curvas para os custos da interrupção no fornecimento da energia elétrica para os segmentos industrial e comercial, bem como a equação de regressão correspondente, do tipo  $C = a t^b$ , com  $a$  e  $b$  parâmetros de ajustes fornecidos por uma tabela.

Uma outra abordagem possível para calcular o custo da energia não suprida consiste em estimar o aspecto global da falha sobre a economia (Jaramillo e Skoknic, 1981). Este procedimento caracteriza-se pela correlação existente entre o consumo de energia elétrica e variáveis macroeconômicas embutidas nos processos de produção.

Admite-se que cortes no suprimento de energia elétrica diminuam o produto interno bruto (PIB). Chamando a variável  $C$  de consumo de energia elétrica em determinado período, pode-se definir a elasticidade-consumo,  $\varepsilon$ , pela expressão

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\frac{\Delta \text{PIB}}{\text{PIB}}} \quad (1.1)$$

Denominando  $C_M = \frac{\Delta \text{PIB}}{\Delta C}$  de "custo marginal da interrupção", vem

$$\varepsilon = \text{PIB} / C.C_M \quad (1.2)$$

e assim

$$C_M = \frac{\text{PIB}}{\varepsilon C} \quad (1.3)$$

Sendo  $\varepsilon$  determinado a partir de séries históricas do PIB contra o kWh. O resultado que se obtém pela expressão (1.3) mede o valor, para a sociedade como um todo, da restrição no fornecimento de energia elétrica.

### 1.3 Impactos sociais e ambientais dos grandes empreendimentos de geração e transmissão de energia elétrica

As necessidades crescentes de energia elétrica advindas da sociedade moderna e os altos custos provenientes do não suprimento desta energia, como mostrado no item anterior, colocam as concessionárias diante da opção de aumentar a oferta mediante a construção de novas fontes de geração e as obras de transmissão/distribuição correspondentes.

Por outro lado, tais empreendimentos esbarram em restrições de ordem financeiras, ambientais e sociais. De ordem financeira face ao esgotamento dos recursos internos do país e também, como já salientado, da impossibilidade dos organismos de fomento a nível mundial atenderem a imensa disputa por financiamentos em infra-estrutura nos mercados emergentes e nos países em desenvolvimento.

Do lado ambiental, as grandes obras de geração e transmissão, necessárias face a imposições de economia de escala, resultam na utilização de grandes extensões territoriais para gerar e transmitir a energia elétrica.

Os aproveitamentos de geração térmica, seja a combustíveis fósseis, seja de origem nuclear, impõem restrições ambientais que vão desde a ocorrência de chuvas ácidas até a consideração de segurança às populações vizinhas.

A exploração das minas de carvão ou o despejo de resíduos em cursos d'água deixam sequelas de difícil (e cara) recuperação da natureza pela sociedade.

As necessidades de espaço das linhas de transmissão em alta e extra-alta-tensão podem envolver o comprometimento de sítios arqueológicos, aldeias indígenas, reservas ecológicas ou parques florestais. Uma linha de transmissão em 500 kV, por exemplo, pode requerer uma faixa de passagem de 65m de largura por 400 km de extensão.

No lado das grandes obras hidrelétricas a questão se apresenta de forma mais dramática, face a necessidade de deslocamento de populações para a formação do reservatório da usina.

O esgotamento dos potenciais mais próximos aos grandes centros de carga leva a procura de novos sítios energética e economicamente favoráveis, geralmente distantes destes centros e, por isto, viabilizando o emprego de grandes linhas de transmissão para integrar a carga à geração.

O deslocamento de populações ribeirinhas, com todas as nuances culturais e sociais, é tarefa das mais complexas, como atestam as experiências da CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) em Sobradinho e da ELETROSUL (Centrais Elétricas do Sul do Brasil) em Itá.

A intervenção do Estado no submédio São Francisco, visando a construção de uma barragem a partir do pressuposto de priorização da produção de energia elétrica e o consequente reassentamento da população resultante desta intervenção, desencadearam mudanças sociais profundas nesta região.

Entre estas mudanças podem ser citadas (Sigaud, 1988):

- A inviabilização da agricultura da vazante, com a supressão das terras de vazante face a formação do reservatório.

Expropriada da vazante, a população que se encontra reassentada nos núcleos da borda do lago tenta reproduzir sua antiga forma de cultivo, plantando numa "vazante artificial" deixada pelo lago, distinta da natural, visto que a subida ou descida das águas é decidida pela CHESF dentro do princípio de maximização da energia.

- Perda do "Controle das águas". A construção do reservatório e a operação da barragem provocaram uma alteração no regime do rio, subvertendo todo o esquema de referência



social da população ribeirinha, tanto no que tange ao calendário agrícola como nas atividades sociais (festas profanas e religiosas) organizadas em função do regime do rio.

- Inviabilização da pesca tradicional, face a impossibilidade de utilização das pequenas e tradicionais embarcações, não adequadas as águas revoltas do lago, com ondas de até 5m de altura.
- A junção dos povoados em núcleos, suprimindo os elementos que conferiam identidade ao povoado e que compreendiam um conjunto de relações sociais estabelecidas entre seus moradores.
- modernização da infra-estrutura, atraindo investidores de fora que se apropriam de grandes extensões de terra, geralmente via grilagem, expulsando milhares de famílias de suas terras.

No caso de Machadinho, onde a usina ainda não foi concluída, as condições sociais são diferentes, sendo o vale do rio Uruguai uma área de ocupação recente (ao contrário do caso de Sobradinho) e com uma população concentrada e heterogênea do ponto de vista da origem social. Habitados a suinocultura, os agricultores do alto Uruguai receiam migrar para o Mato Grosso do Sul tanto por não conseguir reproduzir lá a mesma atividade, como por não dispor de capital para uma modernização, condição essencial para esta migração. Em Machadinho, a reação à barragem aparece de forma organizada e já é mesmo pré-existente a intervenção do Estado, partindo de organizações religiosas e cooperativas.

Tanto quanto em Sobradinho, procura-se reduzir custos à custa do social, não se sabendo o que fazer com a população, a não ser impor-lhe condições de indenização e tabelas de preços (Sigaud, 1988). No entanto, a reação desta população forçou a ELETROSUL em recuar no que tange ao reassentamento fora do estado e também no que concerne ao comportamento desta empresa perante a opinião pública.

Como se percebe do exposto anteriormente, a expansão da oferta de energia elétrica esbarra em restrições financeiras, ambientais e sociais, abrindo caminho para a busca de soluções alternativas que viabilizem o crescimento econômico e minimizem os inconvenientes já comentados (Debier et al., 1993).

Dentre o leque de opções aparece o enfoque pelo lado do consumidor, o chamado gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), permitindo uma maior participação (e portanto controle) da sociedade no equacionamento da questão energética.

O GLD diz respeito ao planejamento, a implementação e acompanhamento daquelas atividades que modificam a curva de carga dos consumidores. Isto pode ser feito adotando tecnologias e processos mais eficientes que irão substituir os menos eficientes e também por técnicas de gerenciamento e fontes alternativas de energia, como a cogeração, resultando em reduções globais e significativas no uso da energia (Sudhakara, 1995).

A partir dos choques do petróleo e do agravamento das restrições à oferta já assinaladas, o gerenciamento pelo lado da demanda passa a ser uma opção obrigatória nos estudos de planejamento do setor elétrico.

#### 1.4 O controle das empresas de energia elétrica pela sociedade.

A importância da eletricidade para a sociedade, insumo básico nos processos de produção e condição essencial para manter e elevar a qualidade de vida da população, mostra que existe necessidade de um maior controle, por parte da sociedade, das empresas encarregadas institucionalmente de gerar, transmitir e distribuir a energia elétrica, hoje praticamente à mercê de grupos políticos ávidos de poder e empreiteiros ávidos de lucro a que preço for.

Empregando a noção dos detentores de interesse ou "Stakeholders" (Freeman, 1983), podemos apresentar os diversos grupos que gravitam em torno de uma empresa de energia elétrica, figura 1.7.

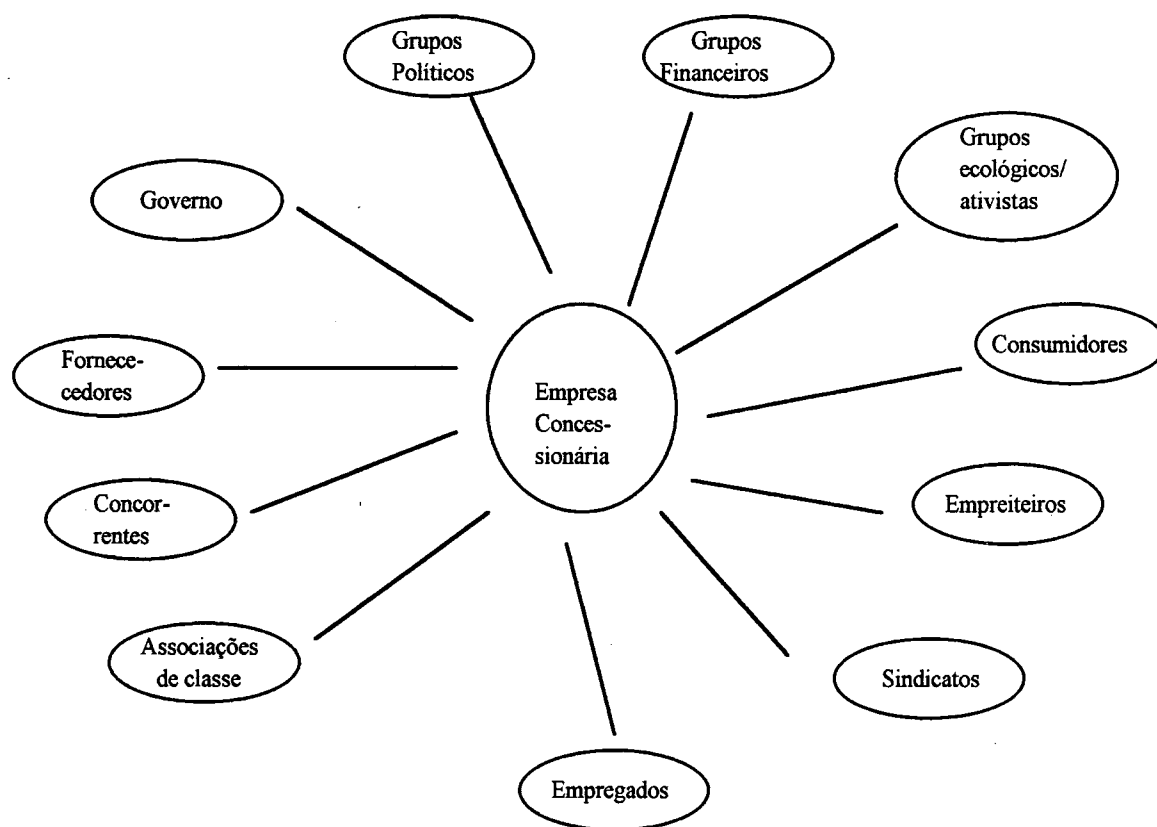


Fig. 1.7 - Detentores de interesse numa empresa concessionária de energia elétrica.

Já a figura 1.8, simplificando o esquema anterior, mostra as forças em competição na área elétrica (Faruqui, 1987).

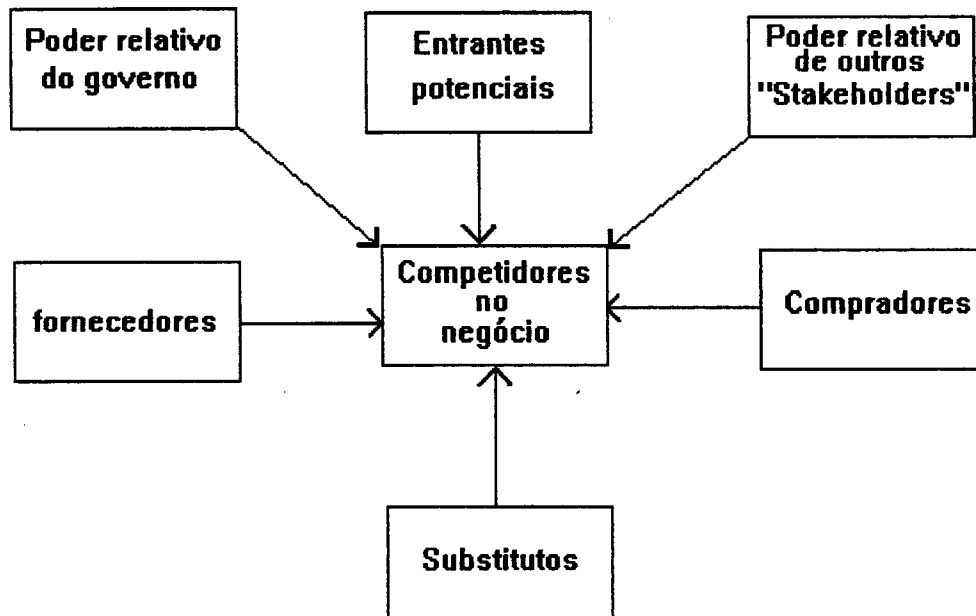


Fig. 1.8 - As forças em competição na área elétrica

Hoje em dia as empresas de energia elétrica encontram-se mergulhadas num ambiente de arena política, encorajando as pessoas a perseguirem seus próprios objetivos e necessidades. A força centrífuga da política, dirigida para o conflito e a confrontação, se opõe a força centrípeta da ideologia, necessária à cooperação.

A necessidade de mudanças, a longo prazo, no entanto, pressupõe que estas duas forças antagônicas se reconciliem e encontrem um balanceamento efetivo, constituindo um equilíbrio dinâmico de modo a evitar a tensão constante ao longo do tempo (Mintzberg, 1991).

O governo, com uma maior parcela de poder relativo, deverá agir para direcionar as empresas de energia elétrica no sentido de uma maior integração a nova realidade política, econômica e social do país. Os programas alternativos de gerenciamento pelo lado da demanda só serão efetivos se forem assimilados e adotados pelas forças dominantes nas organizações do setor elétrico.

A quem, no entanto, deverá caber o controle da corporação, tendo em vista o alcance destes objetivos ?

A questão sobre quem deve controlar a instituição parece muito bem descrita e equacionada no esquema da "ferradura conceitual" de Mintzberg, fig. 1.9 (Mintzberg, 1983).

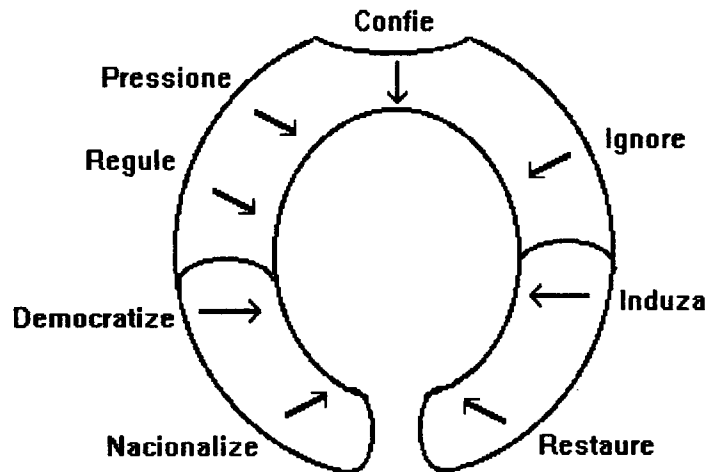


Fig. 1.9 - A "ferradura conceitual" de Mintzberg

Aqui as propostas situam-se ao longo do espectro político, desde a nacionalização da corporação pelo governo, de um extremo, até a restauração do controle pelos proprietários tradicionais no outro.

Entendemos que a corporação deverá estar sujeita a uma variedade de forças controladoras, se preferirmos uma postura democrática mas ainda produtiva. Quase nada se ganhará com as posições extremas, visto que ambas levam a uma sociedade controlada por poucos.

Também não parece sensato defender posições tipo "confie", "ignore" ou "induza", deixando o poder nas mãos de uns poucos executivos e gerentes de alto nível, mantendo a corporação como um sistema fechado, não sincronizado com os reais interesses da sociedade.

As instituições devem estar a serviço da sociedade, não aos interesses da própria corporação. Fica claro a necessidade de serem controladas por forças sociais e políticas externas. Parece-nos que a questão fica centrada em torno do arco que vai desde "democratize" até "pressione", passando obrigatoriamente por "regule".

O uso da pressão permite alterar normas sociais e forçar restrições formais, como a própria regulação, facilitando mudanças na corporação e até seu policiamento, impedindo centralização de poder e apoiando que as instituições sejam submetidas a uma pluralidade de forças.

A regulação, por seu turno, torna-se efetiva e necessária quando o poder baseado na disponibilidade de recursos, conhecimento privilegiado ou a ausência de competição, for usado para explorar o mais fraco. Ainda é útil quando as chamadas externalidades tornam-se nocivas à sociedade e podem ser atribuídas a corporações específicas.

Democratizar a corporação, sem destruir a sua eficiência, parece ser o caminho natural. Ainda citando a democratização, torna-se oportuno repetir as palavras de Mintzberg (Mintzberg, 1985):

"a maneira lógica de proceder, em minha opinião, é tentar obter um corpo diretor mixto e balanceado, pluralista, incluindo representantes dos trabalhadores, consumidores, comunidades locais e outras significativamente influenciadas pela corporação, os acionistas e assim sucessivamente".

Esta representação deveria variar de acordo com o tipo de indústria em questão, por exemplo, uma maior proporção dos representantes dos consumidores seria desejável na direção das concessionárias de energia elétrica, talvez uma maior proporção de representantes dos trabalhadores onde a competição for mais forte, e assim por diante.

## 1.5 Resumo

O presente capítulo abordou a questão da dependência da sociedade moderna em relação ao fornecimento de energia, seja para garantir a competitividade da nação em relação a mercados exigentes e globalizados, seja para manter ou mesmo elevar o padrão de vida das populações. A energia é uma variável estratégica de desenvolvimento sobre a qual os planejadores podem e devem atuar.

Foi mostrado o relacionamento da energia com os demais setores macroeconômicos e enfatizada a questão dos financiamentos necessários para a infra-estrutura energética dos mercados emergentes e dos países em desenvolvimento nos próximos anos. Destes financiamentos, cerca de 1/3 deverão ser empregados no setor elétrico.

Comentou-se a questão do valor econômico da energia e foram apresentados valores para o custo da energia elétrica não suprida. Em seguida foram realçados os problemas ambientais, sociais e de financiamentos que aparecem na tentativa de aumentar a oferta da energia elétrica, enfatizando a necessidade de novas alternativas de planejamento, como o gerenciamento pelo lado da demanda, que contempla uma maior participação dos consumidores no equacionamento e no trato da questão energética. Visando tornar viável a aplicação de técnicas de gerenciamento pelo lado da demanda no Brasil, *o objetivo da nossa pesquisa compreende o desenvolvimento de metodologia que possibilite identificar o potencial de conservação de energia elétrica de consumidores residenciais*, procurando relacionar este potencial a variáveis tipo nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo e região onde mora o consumidor. O detalhamento da pesquisa está apresentado no capítulo V.

Finalmente, visando tornar viável tal abordagem alternativa, discutiu-se o controle da corporação, concluindo-se que as concessionárias de energia elétrica deveriam ser pressionadas na direção deste novo enfoque, reguladas para tal, e democratizadas no sentido de permitir o assento dos consumidores e de outros segmentos da sociedade em seus conselhos de administração.

## **CAPÍTULO II**

# **O PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA**

### **2.1 Introdução; evolução do planejamento elétrico brasileiro**

#### **2.1.1 Introdução**

O objetivo principal do planejamento dos sistemas elétricos de potência é atender as necessidades de energia elétrica dos consumidores tão economicamente quanto possível, dentro de padrões compatíveis de segurança e qualidade.

Esta tarefa irá exigir inúmeros e variados estudos de modo a equacionar o crescimento da demanda com os menores custos possíveis, ao mesmo tempo que se consideram restrições ambientais e financeiras.

Tradicionalmente o planejamento do setor elétrico brasileiro tem sido caracterizado pelos seguintes aspectos (Zaguis et al. 1991):

- Planejamento com base no crescimento histórico do mercado, a partir do qual eram definidos os programas de investimentos relativos à ampliação dos sistemas de geração, transmissão e distribuição.

- Pouca ou nenhuma importância atribuída ao comportamento efetivo do mercado, bem como quanto aos hábitos e usos da energia elétrica.

- Limitava-se a colocar a energia à disposição dos mercados, com raros esforços voltados para a otimização dos sistemas elétricos através de ações interativas com os consumidores.

- As condições de disponibilidade energética e de tarifas não motivavam o consumidor a utilizar a energia elétrica de forma racional e otimizada.

O planejamento do setor elétrico brasileiro estava profundamente associado ao modelo desenvolvimentista adotado pelo país, sendo a orientação dominante o crescimento contínuo da oferta, antecipando pela expansão as necessidades estimadas do mercado. Este modelo de planejamento foi alicerçado em certas condições internas e externas ao país, cabendo mencionar entre elas as seguintes (Nery e Fantini, 1991):

- Uma economia internacional pujante com oferta de recursos de capital sem limitações e atraentes, com o mercado favorecendo a exportação dos produtos brasileiros.

- O poder político do Estado brasileiro, assumindo este o papel de promover os empreendimentos necessários ao crescimento do país, mediante empresas estatais às quais eram atribuídas a execução das políticas e estratégias previamente estabelecidas.

- A persistência de um regime político autocrático, fechado, não permitindo questionamentos ou manifestações contrárias ao modelo estabelecido.

- A disponibilidade de um bom sistema de educação, que pode propiciar mão de obra especializada de nível adequado, e que soube se adaptar as crescentes exigências oriundas da expansão do sistema elétrico, mediante treinamento no país e no exterior, contribuindo para o estabelecimento de uma cultura profissional e empresarial equivalente a dos países industrializados.

- O aparecimento e/ou consolidação de importantes instituições fundamentais ao modelo de desenvolvimento pretendido, nas áreas de pesquisa, financiamento e fomento, estudos estratégicos, regulamentação institucional, industrialização e comércio, etc.

- Um sistema tarifário por empresa, com remuneração positiva e suficiente para uma composição equalitária tripartite (empresa, Estado e terceiros) nos investimentos.

Estes fatores propiciaram o aparecimento de uma atividade de planejamento da expansão, atividade esta adaptada às peculiaridades brasileiras, basicamente consistindo no aproveitamento de abundantes recursos de origem hidráulica, longe dos grandes centros de consumo e portanto, implicando na construção de extensa rede de transmissão de energia elétrica em extra-alta tensão.

### 2.1.2 Evolução metodológica do planejamento elétrico brasileiro

Se analisarmos os progressos metodológicos da função planejamento da energia elétrica no Brasil (Alqueres, 1987), podemos caracterizar três fases da evolução metodológica, com uma quarta fase em processo. Tais fases seriam:

Fase 1 - correspondente ao período até 1963

Fase 2 - correspondente ao período compreendido entre 1963 e 1974

Fase 3 - correspondente ao período compreendido entre 1974 e 1982

Fase 4 - período após 1982.

Na fase 1, compreendendo o período até 1963, os sistemas elétricos eram de pequeno porte, espalhados pelo país e construídos e operados por empresas privadas e por algumas empresas estatais que se consolidaram, como a CHESF e FURNAS, em âmbito federal, e a CEMIG no plano estadual.

As redes elétricas existentes eram bastantes modestas, a exceção daquelas que alimentavam S. Paulo e Rio de Janeiro, os maiores pólos industriais do país à época. As expansões dos sistemas eram em pequena escala, com redes não ultrapassando o nível da alta tensão (230 kV) e geralmente radiais, ligando os centros geradores aos locais de consumo.

Em 31 de Dezembro de 1962, o total de potência instalada no país era de 5.729 MW e em junho deste mesmo ano era constituída a ELETROBRÁS. Destinava-se ao atendimento de vários pontos de uma nova etapa de geração de eletricidade (Camargo, 1991):

- O planejamento a longo prazo, objetivando programar obras de geração e transmissão para atendimento ao mercado de energia elétrica.
- O aporte de grande volume de recursos para investimentos com longos prazos de maturação.
- A rentabilidade limitada, condicionada muitas vezes às diretrizes governamentais.
- Atividade de coordenação, face à abrangência regional dos grandes aproveitamentos hidrelétricos.



- A necessidade de distribuir recursos para investimentos a nível nacional, procurando equilibrar as regiões mais desenvolvidas e melhor abastecidas e as áreas mais pobres e carentes.

O período inicial de funcionamento da ELETROBRÁS caracterizou-se pela implantação da realidade tarifária e também pela aquisição dos direitos e ações das concessionárias estrangeiras que atuavam no país, consoante diretrizes de governo.

Na fase 2, em decorrência de planos regionais elaborados pela CANAMBRA (Comitê de estudos Canadense-Americano-Brasileiro) para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, iniciou-se a interligação entre sistemas a nível intra-regional.

Aparece o amadurecimento institucional das empresas do setor e a seleção dos aproveitamentos passa a se fazer dentro de um enfoque mais regional. São buscados os potenciais geradores mais distantes dentro da ótica de otimização do benefício para o sistema hidrotérmico. Técnicas sofisticadas de planejamento são incorporadas ao setor como análises de fluxo de carga, estabilidade, estudos de sobretensões e coordenação de isolamento, geralmente mediante o emprego de computadores digitais e analógicos. O planejamento do setor elétrico, no entanto, ainda é realizado em total independência em relação aos outros setores energéticos.

A fase 3, característica do período empreendido entre 1974 e 1982, é marcada pelo choque do petróleo e pela elevação dos custos financeiros à nível mundial. A necessidade de captação de divisas para conseguir comprar petróleo no mercado internacional, a preços crescentes, levou a estratégia de utilizar o setor elétrico para captar financiamentos vinculados a aquisição de equipamentos para projetos concebidos fora dos esquemas oficiais de planejamento do setor (Alqueres, 1987).

Assim, ao ser detonada a crise econômica mundial o setor se encontrava vulnerável, principalmente pela deterioração das tarifas, motivada no plano interno pela conjuntura inflacionária e a política de reajustes então adotada.

A gestão financeira mais imediatista substitui o planejamento a médio e longo prazo, enfraquecendo a representatividade dos órgãos planejadores. Neste período, no plano técnico, são desencadeadas as metodologias de base probabilística no planejamento, buscando substituir os critérios determinísticos pela análise do risco de não suprir a demanda.

Estudos são desenvolvidos empregando técnicas de confiabilidade (probabilidade de perda de carga, frequência e duração) ao mesmo tempo que se busca a integração entre os planejamentos da geração e da transmissão, até então realizados separadamente. Aparece, em decorrência do crescimento dos sistemas, a necessidade de interligação a níveis regionais, enfatizando o emprego de redes a nível de extra-alta-tensão (345 kV, 440 kV e 500 kV). O setor vive intensamente a "fase Itaipú", principalmente face a colocação obrigatória da energia a ser gerada por esta usina (conforme a Lei 5899, de 5/7/73) e, em consequência, provocando mudanças profundas no planejamento das empresas federais e estaduais.

Na fase 4, a partir de 1982, sistematizou-se sob a coordenação da ELETROBRÁS e através do GCPS (Grupo Coordenador do Planejamento do Sistema Elétrico), a prática de um planejamento integrado e representativo, com as empresas estaduais participando nos diversos comitês que compunham o GCPS. Tem início, nesta época, uma reação institucional que buscava devolver ao setor decisões essenciais que estavam fora dele.

Paralelamente, um quadro de crescente escassez de recursos levou a uma integração planejamento-investimento-recursos financeiros. No plano técnico consolidam-se as metodologias de base probabilística inclusive procurando quantificar os custos da energia não suprida. O quadro econômico-financeiro leva a atrasos de obras, obrigando as empresas a realizarem estudos de planejamento com maior frequência. O elenco de obras propostas pelos órgãos de planejamento passa a ser feito de forma ordenada, segundo critérios que medem o grau de impacto para o sistema do atraso da referida obra.

Poderíamos acrescentar a este breve histórico o surgimento de uma quinta fase, que tem suas origens nas reformas empreendidas pelo governo Collor a partir de março de 1990. Neste contexto, surge o debate privatização x estatização, debate este acirrado pela crônica escassez de recursos para o investimento público em energia elétrica.

O país precisa investir atualmente cerca de US\$ 6 bilhões anuais para que o setor tenha um crescimento anual médio de 5% no mercado brasileiro. Basta dizer, para comprovar a importância do tema, que em 1993 a ELETROBRÁS investiu apenas US\$ 1,4 bilhões dos US\$ 2,3 bilhões previstos. Ressalte-se que em 1992, enquanto o produto interno (PIB) caiu 0,9%, o consumo de energia elétrica cresceu 3,9% (Freitas, 1994).

Neste período, o planejamento do setor vislumbra, em atendimento à política governamental de enxugamento do Estado, a possibilidade de atrair capitais privados para injetarem recursos na energia elétrica, principalmente em grandes empreendimentos de geração, praticamente paralizados por falta de financiamentos. Entre as fórmulas propostas para viabilizar o emprego de recursos privados no setor elétrico, assegurando a execução do plano de obras, poderiam ser citadas as seguintes (Rodrigues e Dias, 1994):

- Participação acionária nas companhias de energia elétrica.
- Captação de poupança interna.
- Produção de energia para uso próprio e para revenda, por parte de grandes consumidores e da iniciativa privada.
- Co-geração de energia.
- Participação acionária de consumidores.

- Arrendamento de bens.
- Participação de empregados no capital das concessionárias.

A principal questão a ser resolvida, neste particular, refere-se ao nível tarifário, como forma de atrair capital. Evidentemente, equacionar a questão do endividamento externo é fundamental e remete à política econômica do Governo Federal, ressaltando-se o aspecto primordial do controle da inflação.

De qualquer modo, as privatizações da ESCELSA e da LIGHT, empresas controladas pela ELETROBRÁS, já mostra uma disposição do governo no sentido de viabilizar a injeção de capitais privados no setor elétrico.

Embora admita-se como necessária a participação do capital privado na geração, o sistema de transmissão e distribuição deverá continuar sob controle estatal, visando facilitar a operação do sistema interligado.

## **2.2 O planejamento sob condições de incerteza**

Como já mencionado no item anterior, os choques do petróleo introduziram grandes turbulências e incertezas no ambiente praticamente estável do setor elétrico.

Entre as possíveis turbulências ambientais que deverão doravante serem consideradas pelos planejadores, podemos destacar as seguintes:

- Incerteza na demanda futura
- Preços dos combustíveis
- Custos de construção
- Disponibilidade e preço da energia a ser comprada de outras empresas.
- Regulamentação/desregulamentação
- Pressões ecológicas crescentes
- Obsolescência dos atuais sistemas

- Dimensão econômica - política - social do país
- Disponibilidade de pessoal técnico qualificado no futuro.

Neste sentido, o planejamento irá requerer, mais do que nunca, a adoção do "gerenciamento estratégico" e de uma postura dinâmica ao invés de estática. O gerenciamento estratégico deverá continuamente monitorar o planejamento, adaptando a empresa às mudanças ocorridas no ambiente aonde ela atua.

As influências provocadas pelas complexidades introduzidas no meio ambiente ficam dramaticamente realçadas no estudo realizado pela concessionária de energia elétrica norte-americana, "Southern California Edison".

Esta empresa revisou o planejamento proposto para o período 1965-1985 e da análise efetuada cabe destacar os seguintes pontos, conforme matéria publicada na edição de maio/junho de 1992 da revista "Planning Review":

- A empresa encontrou que suas projeções de crescimento do mercado eram duas vezes maiores que as efetivamente verificadas.

- De um total de 34.000 MW de instalações de geração planejadas, somente 9.000 MW foram efetivamente acrescentados ao sistema.

- Eventos não previstos modificaram radicalmente o ambiente de negócios da empresa, tornando inválidas suas projeções.

A Southern California Edison aprendeu duas lições básicas neste seu estudo de revisão do planejamento:

a) Não é prudente amarrar planos futuros rigidamente a um único projeto ou previsão.

b) A melhor forma de planejar para incertezas futuras é postular uma série de cenários plausíveis e preparar respostas flexíveis para cada um deles.

Quando o meio ambiente se torna instável, como tem sido o caso desde 1973, aqueles que tomam as decisões deverão de algum modo identificar as variáveis-chave e acomodar suas políticas a elas. Em termos mais gerais existem duas maneiras de assim proceder (Collingridge e James, 1991):

- Uma abordagem chamada "autárquica", focalizando uma faixa de variáveis mais estreita e buscar o controle e manipulação destas variáveis através de uma transformação de todo o sistema de energia. Tal ação tipicamente compreende centralizar o processo de deci-

são, mediante o emprego de empresas estatais trabalhando em horizontes muito amplos, ênfase na auto-suficiência energética e pesados investimentos em áreas vitais do suprimento energético.

- Uma abordagem flexível, identificando uma faixa mais ampla de variáveis-chave, em número difícil de prever e manipular com sucesso, salientando a importância de um sistema de energia adaptativo. Esta política flexível de energia aceita benefícios menores em troca de custos mais baixos em caso de erros. Tal política deve, no entanto, obedecer a cinco critérios:

- Desenvolvimento de estratégias incrementais.
- Máxima possibilidade de substituição.
- Máxima diversidade.
- Monitoramento sofisticado e procedimentos de avaliação.
- Plano de contingências sofisticado.

Planejar em condições de incerteza irá requerer que se empreguem práticas bastante diferentes daquelas habitualmente usadas. Estas práticas certamente irão compreender (Mc Conkey, 1988) itens como exploração de cenários alternativos, um maior uso de seleção de contingências e um melhor e maior monitoramento dos pressupostos que fazem a base de todo o planejamento.

Além disto, deverá ser buscada uma melhor integração entre as fases de curto, médio e longo prazo, de modo a se assegurar que cada uma suporta a outra. Pouco será conseguido se o melhor plano estratégico não puder ser implementado porque o planejamento a curto e longo prazo não dá suporte ao mesmo. Também será de vital importância que se aprimorem as técnicas de análise do meio ambiente onde está imersa a organização.

Ainda citando Mc Conkey, podem ser listadas sete maneiras úteis de planejar em condições de incerteza:

- a) Pensamento estratégico versus tático.

Deve-se desenfaturar o valor da experiência e detalhes, concentrando-se nos conceitos mais abrangentes e no futuro. A experiência tende a se tornar menos valiosa com o crescimento das taxas de mudanças no meio ambiente e no seu nível de complexidade.

- b) Gerenciamento estratégico versus planejamento estratégico.

O melhor plano estratégico não é linear: ele é circular e é continuamente avaliado e revisado a medida que se desenvolve. Baseia-se na repetição dinâmica de três ações principais: planejar, medir e ajustar.

c) Fazer uso de suposições que significativamente afetem o desempenho da empresa.

As suposições, geralmente definidas como a melhor estimativa no presente de impactos externos que influenciam a atividade da empresa, deverão ser formuladas em passos ordenados, procurando isolar os eventos futuros que possam ter efeitos significativos no desempenho da organização.

Tais eventos são examinados tão detalhadamente quanto possível, procurando determinar seus impactos sobre os negócios. As suposições deverão ser continuamente verificadas e, caso não se materializem, ações corretivas são necessárias nos planos previstos.

d) Empregar probabilidades para as suposições efetuadas.

Uma técnica que tem tido uso crescentes por profissionais de muitas empresas consiste em fazer estimativas de probabilidades em conjunto com as suposições escolhidas. Tais estimativas de probabilidade seriam os melhores julgamentos, os graus de crença, em termos relativos ou quantitativos, das possibilidades de realização efetiva das suposições adotadas.

e) Fazer uso de um plano seletivo de contingências.

Embora uma alternativa deva ser escolhida com a mais adequada e de valor para a organização, o chamado Plano A, outras alternativas não podem simplesmente serem rejeitadas e esquecidas. Elas poderão servir como planos de contingências caso o Plano A se demonstre não realista ou sem valor. O planejamento deve desenvolver abordagens alternativas para poder lidar com as incertezas de modo correto.

f) Explorar cenários alternativos

Uma outra estratégia para planejar sob condições de incertezas é explorar quadros alternativos sobre quais futuros poderiam se materializar para a organização. O Departamento de Água e Energia de Los Angeles, por exemplo, procurou gerar previsões das necessidades de energia da sua área de atuação até o ano 2007, mediante o emprego de três cenários básicos (Millet, 1992):

1. Manutenção da tendência atual de crescimento populacional, variação moderada da renda per capita, alterações modestas nos preços de combustíveis (3 a 8%) e nas tecnologias que impliquem em maior uso da energia elétrica. Neste cenário a demanda deverá aumentar vagarosamente e de forma contínua, com as tarifas crescendo em sincronia com as taxas de inflação.

2. Alavancagem tecnológica puxando a demanda de eletricidade. Neste cenário, imagina-se que a inovação tecnológica em certas áreas, como os carros elétricos, por exemplo, irão incrementar a demanda por energia elétrica. Os carros elétricos, por legislação, serão obrigatórios em termos percentuais crescentes a partir de 1997 em Los Angeles, com o objetivo de combater os níveis de poluição atmosférica e assim puxarão a demanda por energia elétrica. A regulação federal será mais acentuada, assim como os custos de combustíveis (mais do que 8% ao ano).

3. A demanda pela energia elétrica será reduzida. Neste cenário, as tecnologias não solicitarão demandas muito significativas. Também a regulação será fraca e as instalações de co-geração crescerão. As tecnologias de geração e transmissão não se tornarão significativamente melhores que as atuais e os custos de combustíveis aumentarão a taxas menores que 3% ao ano. As vendas de energia ficarão ao nível de 1986, principalmente devido ao uso de técnicas de conservação. Foram ainda criados dois outros cenários alternativos, que recombina-  
vam os fatores principais já citados de várias maneiras.

#### g) Análise ambiental detalhada

Como o ambiente externo tem se alterado de modo significativo nos últimos anos, a organização deverá rastrear mudanças não somente nas áreas relativas aos consumidores, competidores, sociedade, ou política e economia, mas também nos valores e necessidades dos seus empregados e dos grupos de interesse.

Com a globalização dos mercados torna-se também vital a análise das tendências da economia mundial bem como o acompanhamento da evolução tecnológica, política industrial, terrorismo, carteis e formação de alianças.

Por último, mas não menos importante, atenção deverá ser dada aos órgãos de regulação, procurando agir estrategicamente e de forma preventiva para que as ações emanadas destes organismos não sejam prejudiciais ao futuro da organização.

## 2.3 O planejamento elétrico brasileiro e o novo ambiente

### 2.3.1 O novo ambiente de planejamento

Inúmeros fatores levaram ao esgotamento do modelo vigente no setor elétrico. Entre estes podemos citar a perda de alavancagem financeira pelo Estado, as práticas equivocadas de tarifa e remuneração, com a consequente descapitalização das empresas, a democratização do país e o crescente desejo de participação da sociedade nas decisões governamentais, dificultando a construção de grandes obras de geração e/ou transmissão.

A nova ordem econômica mundial, sob a influência crescente da informática e das telecomunicações, tem favorecido o aparecimento de blocos econômicos e alianças estratégi-

cas face a intensa luta por qualidade e produtividade (Camargo e Borenstein, 1995), privilegiando o uso racional da energia elétrica, insumo básico nos processos produtivos.

Cabe aqui mencionar os requisitos de qualidade crescente nos serviços de suprimento de energia elétrica, principalmente pela proliferação do uso doméstico de computadores digitais e outros tipos de cargas não lineares, dificultando a operação dos sistemas elétricos.

As pressões crescentes da sociedade no sentido de eliminar os bolsões de pobreza existentes no país e ainda cobrar do Estado a infraestrutura necessária em setores essenciais como a educação, saúde, saneamento básico e segurança, deslocam as empresas de energia elétrica para um ambiente complexo e incerto. Neste ambiente, questões ligadas à gerência do mercado, gestão ótima de recursos naturais, controle social das organizações, transparência nas licitações e execuções de obras públicas, remetem a um novo modelo de planejamento.

As propostas de participação da iniciativa privada na área de geração, como no caso recente da hidrelétrica de Itá, apontam para o fim do monopólio natural nesta área.

Adicionalmente, a adoção da desqualificação tarifária introduz variáveis ligadas ao gerenciamento estratégico e desempenho das organizações. Neste contexto, o novo ambiente de planejamento deverá incorporar tres elementos básicos (Schweppe et al. 1989):

- Uma variedade de opções, incluindo alternativas pelo lado da demanda.
- Incertezas (futuros possíveis).
- Objetivos conflitantes dos diferentes grupos detentores de interesse ("Stakeholders").

### 2.3.2 Um novo enfoque para o planejamento

Dentro das condições apontadas no item anterior e sumarizadas na figura abaixo, aparece o embrião de um novo enfoque para o planejamento elétrico brasileiro.

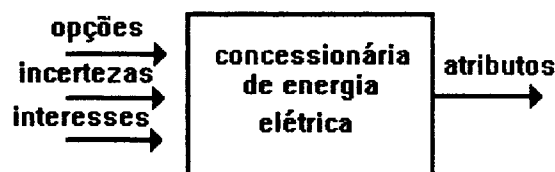


Fig. 2.1 - Um novo enfoque para o planejamento



Nesta figura, entende-se "atributos" como as medidas de resultados de um plano particular combinado a determinado futuro, como por exemplo um certo retorno sobre o investimento, lucro por acionista, probabilidade de perda de carga, níveis de emissão de SO<sub>2</sub>, etc.

O novo modelo de planejamento procura analisar os aspectos sociais e ecológicos dos projetos. As tentativas de incorporar fatores ligados à saúde, segurança, danos ambientais e outros, inclusive procurando quantificá-los em valores, procura buscar a eficiência social na utilização de recursos. A tabela 2.1, extraída de Schweppe et al. 1989, apresenta uma lista de variáveis englobando os aspectos das opções, incertezas e atributos, conforme a figura 2.1. Esta tabela está mostrada a seguir e realça os aspectos já mencionados.

Tabela 2.1 - Variáveis ligadas ao novo planejamento (Schweppe et al., 1989)

Opções	Incertezas	Atributos
• Centrais hidrelétricas	• Preço dos combustíveis	•Econômicos
• Centrais termelétricas	• Crescimento da carga	•Qualidade
• Centrais nucleares	• Resposta de consumidores, a opções pelo lado da demanda	•Financeiros
• Gerência da carga	• Potencial de suprimento de empresas não estatais	•Ecológicos
• Programas de conservação	• Licenciamento	•Sociais
• Centrais de armazenamento de energia	• Longevidade das centrais recuperadas	
• Centrais com o uso de recursos renováveis/alternativos	• Desempenho das centrais recuperadas	
	• Desenvolvimento tecnológico	
• Recuperação e extensão de centrais existentes	• Política tarifária	
	• Mudanças na regulação	

Esta proposta de planejamento, chamada de planejamento integrado de recursos ou planejamento a custo mínimo, é uma resposta do setor elétrico às complexidades e incertezas peculiares ao ambiente nos dias atuais.

Outra característica deste tipo de planejamento é sua integração com os outros setores energéticos, buscando a interação a nível subsetorial e o equacionamento dos requisitos de energia a nível macroeconômico.

Também cabe realçar a participação da sociedade neste novo enfoque de planejamento, o que se dará através da criação do Conselho de Consumidores, constituídos de representantes das principais classes consumidoras, conselho este previsto na Lei 8631, de 4 de março de 1993 (Alqueres e Rezende, 1993).

## **2.4 Planejamento integrado de recursos: uma visão metodológica**

As alternativas pelo lado da demanda influenciam a análise pelo lado da oferta e o sistema de potência influencia os méritos econômicos das alternativas pelo lado do consumidor. Em adição aos fatores econômicos ligados a concessionária no planejamento pelo lado da oferta, aparecem também itens econômicos ligados aos consumidores no planejamento pelo lado da demanda. Um plano de sucesso pelo lado da demanda deve atender tanto aos interesses dos consumidores como os da concessionária (Stoll, 1989).

O planejamento integrado de recursos começa pelo desenvolvimento de previsões de carga. Em seguida, a concessionária avalia os custos e os tempos de vida restantes das suas instalações existentes, identificando a necessidade de novos recursos de energia e capacidade (Hirst e Goldman, 1990). A empresa então avalia um leque de alternativas que possa satisfazer as necessidades identificadas, incluindo a oferta, demanda, a transmissão, distribuição e compras de outras concessionárias, conforme mostrado na figura 2.2. Este procedimento deverá ser repetido usando diferentes suposições sobre o ambiente externo/custos e desempenho de vários recursos e ainda diferentes combinações de recursos.

A análise de incertezas ajuda a identificar o melhor conjunto de opções de recursos que atende ao crescimento da demanda, é consistente com os objetivos da empresa, evitando exposição a riscos indevidos, e satisfaz outros critérios sociais e ecológicos.

A incorporação do planejamento pelo lado da demanda deverá se dar tanto pela análise conjunta com a oferta como pelas inclusões das características operativas dos sistemas elétricos de potência, conforme mostra o detalhamento exposto no artigo de Gellings e Smith, 1989.

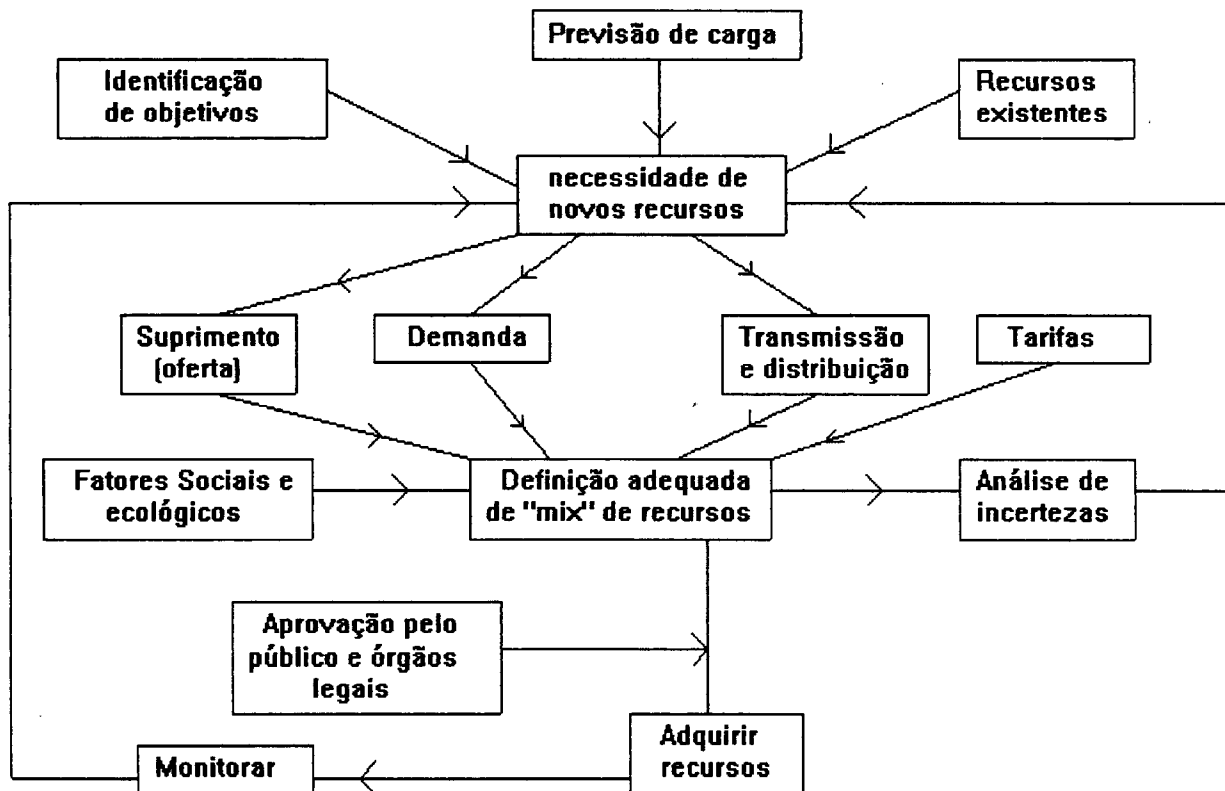


Fig. 2.2 - Planejamento integrado de recursos (Hirst e Goldman, 1990).

No planejamento integrado de recursos as perspectivas imediatas dos consumidores são a confiabilidade e o valor econômico (preço da tarifa e estabilidade deste preço). As perspectivas dos acionistas seriam principalmente financeiras, ou seja, lucros, e ainda os possíveis riscos financeiros oriundos de fatos ou eventos não previstos.

As perspectivas do ponto de vista da sociedade incluiriam a economia local e regional, a criação de empregos e a preservação ecológica (Bhavaraju et al. 1989). A equipe de planejamento da concessionária deverá balancear tais perspectivas, geralmente conflitantes, buscando desenvolver planos que satisfaçam, na medida do possível, a todas as partes.

Os planos deverão ser "robustos" face às incertezas do futuro. Também alguma flexibilidade deverá ser dada ao plano, de modo a poder modificá-lo frente a possíveis mudanças nas premissas empregadas.

### 2.4.1 Um modelo para o planejamento integrado de recursos usando programação matemática

Basicamente existem duas grandes classes de modelos de otimização para o planejamento integrado de recursos:

1. Os modelos utilizando a programação matemática definem as variáveis de decisão para a capacidade das novas fontes de suprimento e a quantidade de carga a ser gerenciada no lado da demanda. Os valores ótimos destas variáveis são avaliados pelo uso de algoritmos eficientes.

2. Os modelos baseados em programação dinâmica e árvores de decisão, por seu lado, enumeram implicitamente ou explicitamente, um conjunto de opções discretas cujo desempenho é verificado pelos módulos dos custos de produção e financeiros (Hobbs et al. 1993).

Um plano seria dito ótimo quando minimizasse os custos, para a sociedade, da tarefa de atender os requisitos de energia dos consumidores. A seguir, apresenta-se um modelo de otimização, incluindo o custo como função objetivo a ser otimizada, variáveis de decisão a serem solucionadas (MW gerados e programa de gerenciamento da carga) e um conjunto de restrições tecnológicas e econômicas que devem ser respeitadas (a geração deve atender a demanda, a capacidade geradora não pode ser excedida).

Este modelo, ainda seguindo Hobbs, é simplificado, visto não assumir detalhes relativos à variação temporal das cargas, impactos dos programas de gerenciamento da carga e disponibilidade dos geradores.

Não obstante, fornece um bom exemplo, principalmente do ponto de vista didático, de como equacionar e resolver, sob a ótica matemática, o problema de minimizar os custos impostos à concessionária e seus consumidores face a um programa integrado de geração e gerenciamento da carga.

Nestes termos, pode-se escrever:

$$\text{Custo Mínimo (R\$/h)} = \sum_i C_i G_i + \sum_j [(1 - \alpha_j) d_{ej} + d_{pj}] \text{GLD}_j \quad (2.1)$$

$C_i$  = Custo de geração da unidade  $i$  (R\$/ MWh)

$G_i$  = Geração da unidade  $i$  (MW)

$d_{ej}$  = Custo da empresa concessionária para o  $j$ -ésimo programa de gerenciamento da carga (R\$/MWh);

$dp_j$  = Custos incorridos aos participantes do  $j$ -ésimo programa de gerenciamento da carga, excluindo o pagamento de incentivos recebidos da concessionária. Incluirá os custos das compras de equipamentos pelos consumidores e tempo de instalação (R\$/MWh);

$\alpha_j$  = fração dos custos da concessionária, incluindo incentivos, descritos nas contas ou outras transferências monetárias aos participantes do programa  $j$ .

$GLD_j$  = MW economizado na conservação/programa de gerenciamento da carga  $j$ .

O modelo deve ainda obedecer as seguintes restrições:

$$\sum_i G_i + \sum_j GLD_j = q \quad (2.2)$$

$$0 \leq G_i \leq cap_i, \forall i; 0 \leq GLD_j \leq q_{pj}^o, \forall j \quad (2.3)$$

Sendo  $q$  = demanda total, MW, e mencione-se também a relação

$$q = q_{mp} + \sum_j q_{pj}^o \quad (2.4)$$

com  $q_{mp}$  = demanda em MW das cargas "não participantes", consistindo de cargas que não seriam diretamente afetadas por nenhum programa de gerenciamento pelo lado da demanda. Incluiriam as cargas tanto dos não participantes do programa como aquelas cargas de participantes que não seriam afetadas pelo gerenciamento.

$q_{pj}^o$  = demanda em MW de cargas "potencialmente participantes" mas que seriam eliminadas se a medida de conservação  $j$  fosse implementada;

$cap_i$  = capacidade de geração da unidade  $i$  (MW).

A equação (2.2) nos informa que a demanda total deverá ser atendida pela geração e por medidas de gerenciamento da carga.

As relações expressas em (2.3) indicam e limitam o nível de geração e o tamanho do programa de gerenciamento da demanda.

## 2.5 Resumo

Neste capítulo foram apresentados conceitos, características e a evolução do planejamento elétrico no Brasil.

Partindo de sistemas isolados e de pequeno porte pôde-se alcançar, graças a maciços investimentos efetuados pelo governo, a um parque gerador bastante significativo, interligado por extensa rede elétrica em extra-alta tensão.

O esgotamento do modelo que servia de base a este desenvolvimento, provocado por alterações de ordem interna e na conjuntura internacional, principalmente pelos choques do petróleo e dificuldades de financiamento, levou a necessidade de se buscar um novo enfoque de planejamento.

Tal enfoque se caracteriza pela incorporação de fatores como o gerenciamento da demanda, avaliação das incertezas e interesses de grupos ao planejamento do setor, ao invés de simplesmente se limitar a oferta.

Os planejadores deverão procurar equacionar e balancear estes fatores, geralmente conflitantes, e buscar um plano suficientemente robusto e flexível para se adaptar a eventuais alterações nas premissas adotadas.

Foram ainda mostrados detalhes metodológicos deste planejamento integrado de recursos, ou planejamento a custo mínimo, e apresentado um modelo matemático simplificado desta nova abordagem, onde buscava-se minimizar os custos de um programa integrado oferta-gerência da carga.

O gerenciamento pelo lado da demanda irá incorporar o consumidor, portanto seu comportamento e hábitos de consumo, ao planejamento dos sistemas elétricos. Como este comportamento está na essência da pesquisa a ser realizada, o próximo capítulo fará uma avaliação detalhada da gerência pelo lado da demanda.

## **CAPÍTULO III**

### **GERÊNCIA PELO LADO DA DEMANDA**

#### **3.1 Introdução**

Como acentuado no capítulo anterior, o planejamento integrado de recursos, ou planejamento a custo mínimo, é a resposta do setor elétrico às complexas e profundas alterações que emergiram no ambiente das organizações a partir dos choques do petróleo.

Este planejamento busca equacionar os requisitos de crescimento do mercado mediante ações tanto pelo lado da oferta como também através do gerenciamento pelo lado da demanda (GLD).

De acordo com a teoria econômica, de modo a contribuir para o ótimo coletivo, uma concessionária pública em condições de monopólio deve seguir as três regras de preço: satisfazer a demanda, minimizar custos de produção e vender ao custo marginal (Rees, 1979).

O gerenciamento pelo lado da demanda poderá ajudar a atender a estes requisitos e promover melhor eficácia no processo almejado pela empresa.

O conhecimento, por parte da concessionária, das particularidades e características do uso final da energia é fundamental para a otimização de suas atividades e, como tal, ela deverá se instrumentalizar para atuar decididamente neste campo. Através da análise do uso da eletricidade pode-se levar em conta a elasticidade de longo prazo da demanda, definindo o *marketing* e a política de preços da empresa.

---

Os programas de GLD permitem ainda uma visão pormenorizada de cada segmento de mercado, no sentido de identificar oportunidades e de orientar o consumidor com ações de administração de cargas e medidas conservacionistas (Zaguis et al. 1991).

### 3.2 Critérios para implementação de programas de GLD

A gerência pelo lado da demanda precisa ser avaliada em termos de custos e benefícios, de forma a poder comparar seus efeitos com os de outras alternativas.

A estratégia tradicional de atender ao mercado pelo lado da oferta, devido a escassez de fontes energéticas viáveis tecnologicamente, com custos e impactos ambientais reduzidos, tem levado a acentuados acréscimos no custo marginal da geração elétrica, com consequentes aumentos nas tarifas e no aporte de recursos financeiros elevados (Schechtman e Baum, 1989).

Os programas de GLD fornecem uma solução para este problema, na medida que colocam à disposição das empresas meios para mudanças no perfil das cargas e no comportamento dos consumidores (Bellarmine e Turner, 1994).

Para selecionar programas de GLD deve-se decidir quais são os objetivos a serem alcançados pelos mesmos. Para isso é necessário:

- Estabelecer objetivos estratégicos, de amplo alcance.
- Estabelecer objetivos táticos e operacionais.
- Determinar os objetivos ligados à forma da curva de carga.

Os objetivos estratégicos são amplos e geralmente incluem ações no sentido de melhorar o fluxo de caixa da empresa, aumentar os lucros e ajudar no relacionamento com os clientes (Gellings e Smith, 1989).

Certas restrições podem limitar o alcance destes objetivos, tais como a intensidade da regulação, considerações e pressões ecológicas e a necessidade de prestar um serviço de boa qualidade.

No segundo nível, relacionado aos objetivos táticos e operacionais, procura-se direcionar a gerência da empresa para ações específicas, examinando-se alternativas de GLD contra opções pelo lado da oferta. Aqui a postergação de novos investimentos, mediante programas de GLD, pode reduzir as necessidades de investimentos e estabilizar o futuro financeiro da concessionária.



---

No terceiro nível, os objetivos operacionais são traduzidos em objetivos ligados à forma da curva de carga e serão examinados em detalhes no item 3.4. Outros exemplos de objetivos operacionais de interesse da organização podem ser citados (Schechtman e Baum, 1989):

- Redução da utilização de combustíveis críticos.
- Redução ou manutenção dos custos da eletricidade.
- Aumento da receita ou das vendas da concessionária sem aumento no custo da eletricidade.
- Aumento da flexibilidade operacional e da confiabilidade do sistema.
- Redução de tarifas através da alocação mais eficiente das unidades geradoras existentes e planejadas.
- Melhoria da imagem da concessionária junto aos consumidores, utilizando-se os programas de GLD como instrumento de relações públicas.

Ainda segundo estes autores e consoante prática de empresas de energia elétrica dos Estados Unidos, os seguintes critérios são utilizados para julgar alternativas pelo lado da demanda:

a) Critério do consumidor participante.

Procura determinar o valor mínimo de incentivo que deve ser oferecido ao consumidor participante. De acordo com tal critério, a economia para o consumidor resultante do uso da alternativa mais o incentivo recebido deverá ser superior aos custos de investimentos e de operação/manutenção que recaiam sobre ele. Analisando o problema sob a ótica do homem econômico racional (Blaug, 1993), se isto não for observado, não haverá nenhum participante no programa ofertado.

b) Critério de minimização das tarifas.

Tal critério estabelece que as tarifas não devem aumentar além do valor que teriam na ausência do programa de GLD. Visa proteger consumidores não-participantes do programa, seja por falta de oportunidade ou por já terem aderido a outras alternativas anteriores.

c) Critérios de todos os participantes.

Procura garantir que o custo total aos consumidores, tanto participantes como não participantes, seja inferior aquele que decorreria na ausência do programa proposto.

---

d) Critério social.

Aqui adota-se a premissa de que os benefícios sociais do programa de GLD devem ser maiores que os seus custos. Benefícios e custos são avaliados sob a ótica global, incluindo a concessionária e o sistema externo a ela.

### 3.3 Impactos de programas de GLD

Em sequência aos critérios expostos no item anterior, devem ser avaliados os possíveis impactos oriundos dos programas de GLD. Previsões detalhadas dos impactos de um programa de GLD são essenciais para o planejamento a longo prazo, para a operação diária do sistema elétrico e também para modificações de curto prazo no próprio programa.

Em realidade, a efetividade econômica do programa e a sua influência sobre os lucros da empresa, só podem ser avaliadas através da determinação dos impactos sob três aspectos:

- Sob a ótica da concessionária
- Sob a ótica dos consumidores
- Sob a ótica da sociedade, como um todo.

#### 3.3.1 Impactos sobre a concessionária

As concessionárias necessitam avaliar o quanto pode ser postergado em capacidade geradora e em instalações de transmissão e distribuição. Adicionalmente, deve-se avaliar os efeitos do programa de GLD sobre a operação diária do sistema.

Os impactos sobre o planejamento e a operação serão traduzidos em requisitos de lucro para um determinado nível da taxa de retorno, dada uma programação tarifária para a GLD e para outras classes de consumidores. Caso a análise financeira resulte desfavorável para a empresa, esta poderá propor alterações na tarifa.

Esta alteração, por seu turno, pode levar a variadas reações por parte dos consumidores, provocando diferentes impactos sobre a carga. Os consumidores poderão reagir de modos distintos em resposta aos esforços de *marketing* e de relações públicas das empresas.

Estas observações ficam evidenciadas na figura 3.1, a seguir, onde mostram-se os inter-relacionamentos dos fatores que avaliam a efetividade do programa de GLD (Chan, 1983). Nesta figura, G,T e D correspondem, respectivamente, à geração, transmissão e distribuição.

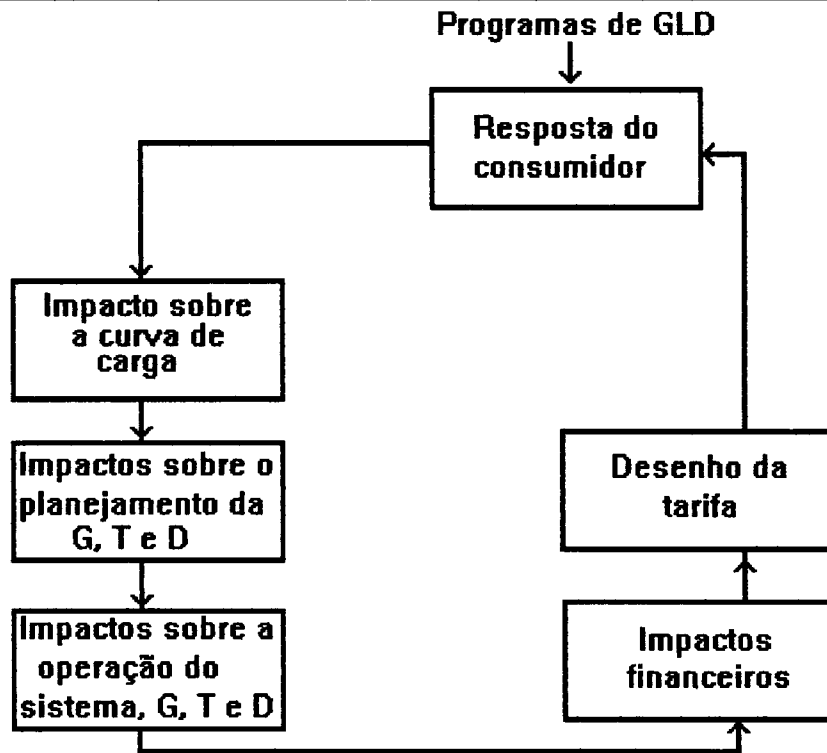


Fig. 3.1 - Fatores inerentes a programas de GLD (Chan, 1983)

Ao avaliar os impactos dos programas de GLD sobre o planejamento, a concessionária precisa investigar questões como:

- O índice de confiabilidade (LOLP, LOLE, F & D, energia não suprida) é uma medida apropriada para determinar se as opções pelo lado da oferta são equivalentes aos programas de GLD ?
- As opções via lado da demanda requerem modificações na curva de carga ou as técnicas que empregam a curva de duração de carga são suficientes?
- Como se creditar valor ao fato de que os programas de GLD são colocados em prática em muito menos tempo do que as opções via lado da oferta ?

A questão relacionada ao índice de confiabilidade merece maior consideração. O propósito deste índice é permitir a utilização de planos equivalentes, do ponto de vista da confiabilidade, de modo a se adotar uma alternativa preferencial de expansão da capacidade. O índice de confiabilidade deverá refletir, de forma consistente, os custos da energia e a política de interrupção de carga da concessionária, de modo a que planos equivalentes de expansão produzam custos totais similares ao se implementarem procedimentos de emergência, compras de energia de outras empresas por razões de confiabilidade e alívio de carga (Chan, 1983).

---

Como tradicionalmente os índices de confiabilidade baseiam-se na ponta de carga do sistema, qualquer programa de GLD que atue de modo a alterar significativamente a curva de carga não receberá créditos apropriados.

Fatores como a confiabilidade do sistema advinda da redução da carga e a disponibilidade de programas de controle da carga, quando for preciso este procedimento, deverão ser considerados em termos de confiabilidade do mesmo modo como se considera a reserva de geração.

A análise de programas de GLD, ao invés da tradicional curva de duração da carga, requer dados detalhados, hora a hora, da carga, aumentando a complexidade da modelagem e os tempos de computação das atividades de planejamento. Ainda, quando incorporamos o GLD, as tradicionais incertezas do planejamento ganham dimensão adicional.

Usualmente, no lado da oferta, dá-se ênfase apenas às taxas de saída forçada das unidades geradoras, sendo as outras incertezas (tempo de construção, custos de construção, forma da curva de carga, crescimento da carga, alterações nas taxas de saída de unidades, etc) consideradas como fatores de segunda ordem.

Tal procedimento penaliza o GLD visto ignorar incertezas exatamente onde as opções via GLD têm muito a oferecer e, em consequência, tais opções não irão receber todo o crédito que merecem debaixo desta análise de sensibilidade tradicional.

Por exemplo, um programa destinado a controlar os aquecedores de água, tipo "boiler", tem um índice de aceitação incerto mas, por outro lado, um tempo de instalação e de operação muito menor do que a opção de construir uma nova central geradora.

Esta flexibilidade de um programa de GLD deverá ser levada em conta na análise do impacto financeiro advindo do uso desta opção. De modo análogo, os modelos de planejamento deverão ser capazes de analisar os impactos da GLD na operação do sistema.

Itens como estratégias de operação do despacho de carga em relação ao comissionamento de unidades geradoras, despacho térmico, acompanhamento da carga e o despacho com restrições da segurança deverão ser adequadamente modelados.

Neste campo específico de operação do sistema da concessionária, cabe realçar que os programas de GLD devem ser encarados como um recurso operativo, do mesmo modo que as alternativas do lado da produção. Os usos de tais programas devem atender a critérios que permitam ao pessoal da operação manter o controle do sistema elétrico.

Os programas de GLD, do ponto de vista da operação, podem ser divididos em duas categorias (Geier e Samaniego, 1986):

a) Programas que podem ser controlados pelo despacho de carga, permitindo o controle direto da carga do consumidor.

b) Programas que não permitem o controle direto da carga, não podendo ser encarados como um recurso operativo. Tais programas provocam alterações na curva de carga mediante mudanças induzidas nos hábitos de consumo de energia elétrica e deverão ser considerados na fase de planejamento.

Os programas que se enquadram no tipo a, isto é, podem ser encarados e empregados como recursos da operação, precisam atender às seguintes condições :

- Disponibilidade, ou seja, precisa-se conhecer quando o recurso está pronto ou disponível para atender a carga, qual a sua magnitude e o seu tempo de resposta quando acionado.

- Custos conhecidos, no sentido de poder se assegurar que o recurso mais econômico está sendo utilizado; deverão incluir os custos de partida e os de operação/manutenção do recurso.

- Capacidade de controlar o recurso, no sentido de poder acioná-lo ou interromper seu funcionamento quando necessário, bem como a permitir seleção dos pontos corretos de operação.

- Possibilidade de verificar a operação em tempo real do recurso, de modo assegurar a eficiência e confiabilidade do sistema.

- Confiabilidade, no sentido de poder contribuir para o sucesso do plano de operação. A falta de uma confiabilidade adequada acarretará efeitos nas necessidades de reserva girante e nos custos de operação e manutenção.

- Adaptados e programados para uso em tempo real, de modo a poder ser incluído nos dados básicos do sistema de gerenciamento de energia e programado para atuar de forma a atender os requisitos do sistema elétrico.

- Ser contabilizável, isto é, pode-se determinar como o recurso será computado e integrado ao sistema contábil da empresa. Se o mesmo ocasionou redução de carga pelo lado da demanda, deverá ser equacionado como contabilizou tal redução e a perda de energia correspondente. Esta característica é fundamental para um programa de GLD, visto que a operação precisa preparar relatórios freqüente sobre o desempenho da rede elétrica e explicitar como tem usado os recursos do sistema.

No que tange ao impacto dos programas de GLD sobre a transmissão e distribuição da empresa, as evidências não são tão claras quanto no caso da geração. Itens como a estabilida-

de da rede, capacidade de transporte e boa prática operativa também influenciam significativamente o planejamento da expansão.

O crescimento da capacidade das subestações será impactado pela adoção de programas de GLD na área. No entanto, o grau de impacto será função da maturidade do programa e do nível de saturação da classe de consumidores que participa deste programa.

Na distribuição, a própria prática de sobredimensionar circuitos, para atender a consumidores não previstos, poderá contrabalançar algumas das vantagens advindas dos programas de GLD. No entanto, acredita-se que a medida que tais programas alcancem a faixa de 10 a 20% da carga total, eles serão efetivos no controle da expansão da distribuição (Runnels, 1987).

Por último, mas não menos importante, situa-se o impacto financeiro sobre a concessionária. Entre os pontos a serem considerados neste item situam-se os seguintes (Chan, 1983):

a) Esquema de financiamento do programa, incluindo-se a possibilidade da empresa financiar a instalação e aquisição de equipamentos aos consumidores participantes.

b) Proposta de incentivos tarifários, com a consideração de incentivos, transferência de pagamentos e financiamentos a juros muito baixos. Os incentivos geralmente são considerados como despesas em um programa de GLD. O modo como eles são tratados financeiramente podem determinar os custos e benefícios de um programa.

c) Ciclo de vida e as múltiplas funções de equipamentos.

O ciclo de vida de um equipamento é uma função muito importante no procedimento da análise econômica. Por outro lado, equipamentos como os de comunicação em programas de GLD podem efetuar uma multiplicidade de funções que envolvem necessidades básicas da concessionária. Neste sentido, como podem ser analisados os impactos financeiros face a tais necessidades (controle da carga, automação da distribuição, leitura de medidores, etc) e aos avanços tecnológicos ?

d) Custos de capital

Trata-se de um fator básico na avaliação do impacto financeiro dos programas de GLD. Em concessionárias sujeitas a regulação este fator é baseado nos débitos, taxa de retorno e outros itens normalmente avaliados ao se determinar a taxa mínima de retorno. Inclui ainda taxas, renda e propriedade, prêmios de seguros e custos de "overhead" da operação, manutenção e funções administrativas.

e) Custos de operação e manutenção

---

e) Custos de operação e manutenção

Os custos da instalação, contatos com o público, operação e manutenção dos equipamentos dos programas de GLD devem ser incorporados à análise do impacto financeiro.

f) Taxa de retirada de consumidores do programa

O número de consumidores que desistem ou abandonam determinado programa de GLD depende do equipamento sendo instalado e do nível de incentivo oferecido. Caso o programa afete significativamente o estilo de vida do usuário muitas desistências poderão ocorrer, colocando em risco a saúde financeira do programa.

g) Facilidade em acomodar incertezas no sistema. Os programas de GLD se caracterizam por rápido tempo de instalação e relativamente baixa necessidade de capital, sendo instalados em módulos. Deste modo, permitem atender as variações de carga sem incorrer em excesso de capacidade, podendo atenuar impactos financeiros consideráveis no caixa da concessionária.

### **3.3.2 Impactos sobre os consumidores**

Os programas de GLD geralmente afetam o uso da demanda (kW) e energia (kWh) dos consumidores mediante três mecanismos (Smith et al. 1985):

- a) Promovendo alterações nas instalações e nos aparelhos de energia elétrica.
- b) Alterando o modo de uso dos aparelhos existentes.
- c) Mudando os hábitos dos consumidores em relação a utilização da energia elétrica.

No primeiro caso, procura-se induzir o consumidor a reformar instalações elétricas antigas, comprar aparelhos mais modernos e eficientes (as vezes com financiamentos da própria concessionária) e ainda estimular a troca de um determinado equipamento por outro que realize a mesma função sob forma mais adequada. Como referência, pode-se citar o exemplo da utilização das chamadas "bombas de calor" ("heat pumps") como alternativa aos sistemas centrais de aquecimento.

No segundo caso, incluem-se as modificações sugeridas nas residências dos usuários, propondo isolamentos adicionais ou janelas mais apropriadas à conservação ambiental. Ainda nesta categoria, enquadram-se os programas de controle direto de determinadas cargas por conta da concessionária. Tais cargas são desligadas, automaticamente, a intervalos regulares durante o dia.

O último mecanismo, item c, procura modificar os hábitos dos consumidores em relação ao uso da energia elétrica. Mudanças no comportamento dos consumidores afetarão os itens a e b anteriores.

O êxito de um programa de GLD é muito dependente das atitudes dos consumidores e altamente correlacionada com os esforços de *marketing* em suporte ao programa.

Outro modo importante de alterar o comportamento do consumidor é através do chamado "sinal de preço". A estrutura tarifária é uma ferramenta poderosa a ser usada nos programas de GLD para mudar o perfil de carga da concessionária de energia elétrica.

O uso de tarifas variando ao longo do dia, por exemplo, procura sinalizar aos consumidores que o custo de produção da energia elétrica não é uniforme, existindo períodos em que ele é mais caro (ponta do sistema ou carga de pico) e horas em que é mais barato (fora da ponta). Neste sentido, esta estrutura tarifária procura induzir o usuário a fazer um consumo maior de energia elétrica antes e depois do período de ponta. Pela sua importância sobre o comportamento do consumidor, este item será examinado com mais detalhes no próximo capítulo.

Os consumidores, ao analisarem os possíveis impactos de programas de GLD que lhes são ofertados, colocam em seus julgamentos itens como os seguintes (Chan, 1983):

- Incentivos; os consumidores aceitarão o programa quando verificarem que vem ao encontro dos seus interesses.
- Grau de severidade do programa; neste caso o programa não será aceito se levar a cortes extremos da eletricidade, como por exemplo desligamento por várias horas de aparelhos de ar condicionado nos dias de verão.
- Modificações no estilo de vida; aqui o programa poderá não ser aceito se afetar profundamente o estilo de vida dos consumidores.
- Considerações estéticas; procura-se verificar se os equipamentos a serem instalados nas residências alterarão a estética e a arquitetura das mesmas.
- Serviços oferecidos aos consumidores; procura-se verificar o nível de comunicação com a concessionária, o padrão e a qualidade das instalações e dos equipamentos e ainda a rapidez do atendimento em casos de manutenção.

Outra característica importante no impacto de programas de GLD sobre os consumidores é o clima, ou melhor, as variações climáticas ao longo de determinados períodos. Condições extremas de temperatura, por exemplo, levarão os usuários a aumentar o consumo de energia elétrica mediante o uso intensivo de aparelhos de ar condicionado.



A empresa deve estar preparada para ajustar as potencialidades do programa de GLD a esta condição, separando os efeitos das variações climáticas sobre o consumo. Caso a concessionária seja limitada quanto ao número de dias em que pode operar o programa de GLD, ela deverá levar em conta as variações climáticas no planejamento do uso ótimo do programa.

### **3.3.3 Impactos sobre a sociedade**

Para a sociedade, o impacto de um programa bem sucedido de GLD será sentido como um aumento evitado ou uma redução nas tarifas. Adicionalmente, pode-se evitar o uso de combustíveis nobres, a operação de unidades menos eficientes e a agressão ambiental oriunda de novos aproveitamentos de geração e/ou transmissão e distribuição.

Outra característica favorável consiste na melhoria do fator de carga do sistema, promovendo um melhor aproveitamento das unidades geradoras e incrementando a eficiência da rede elétrica como um todo.

Além dos benefícios técnicos, econômicos e ecológicos já mencionados, parece-nos que os programas de GLD oferecem à sociedade uma forma de participar e influir no uso da energia. Esta participação, como já mencionado no capítulo 1, é essencial para que a sociedade possa de fato controlar as organizações no sentido de um uso mais racional dos recursos energéticos, permitindo criar uma sociedade energeticamente correta e onde seja democratizado o acesso das camadas menos favorecidas aos benefícios advindos do uso da energia.

## **3.4 Tipos de programas de GLD**

Como já mencionado, existem dois tipos básicos de programas GLD, aqueles que possibilitam o controle direto da carga do consumidor e os que procuram mudar hábitos de consumo através de esforços de marketing, campanhas educacionais e sinal de preço. Em adição, os programas de armazenamento de energia também poderiam ser considerados como GLD visto usarem a energia fora da ponta para armazenarem calor a ser liberado em momentos de ponta na rede. De qualquer modo, os programas de GLD que são oferecidos aos usuários procuram estimular o consumo em períodos favoráveis, dificultá-lo em períodos críticos e deslocá-lo de um período para outro em determinadas ocasiões. Geralmente tais programas seriam (WG 37.03, CIGRÉ, 1991):

- Gerenciamento da carga
- Novos usos
- Conservação estratégica
- Eletrificação

No gerenciamento da carga, figura 3.2, procura-se alterar a forma da curva de carga mediante quatro processos: corte da ponta, enchimento dos vales, deslocamento da carga e curva de carga flexível.

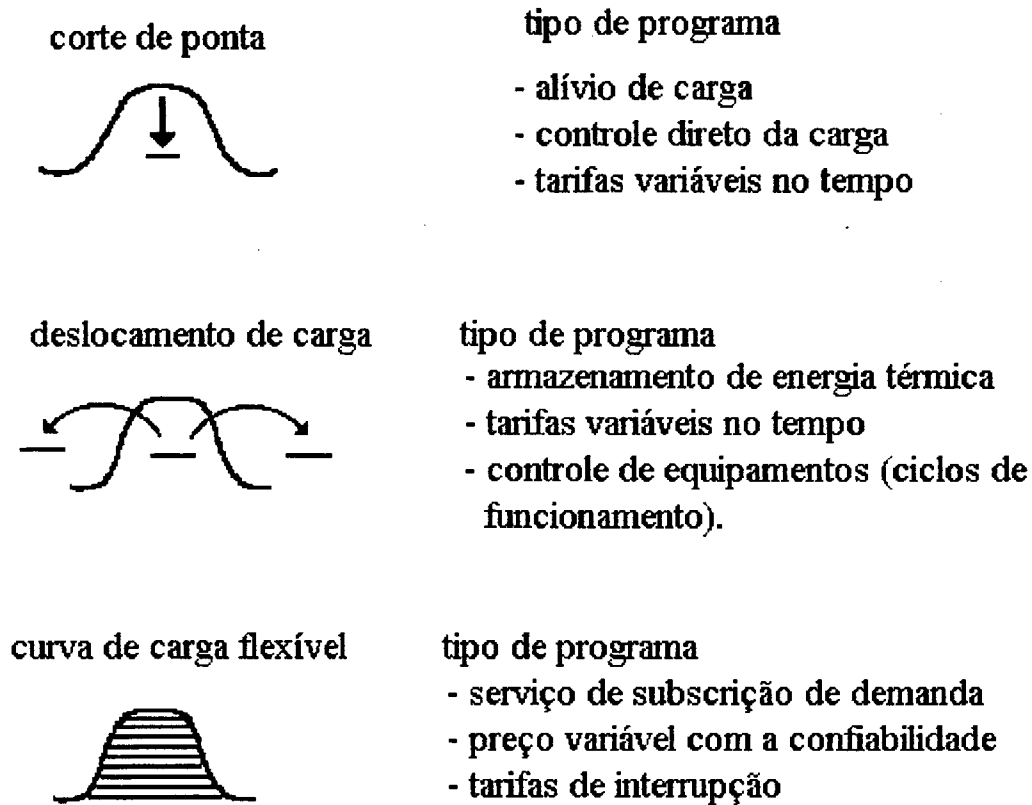


Fig. 3.2-Programas de gerenciamento da carga

O conceito de carga flexível está associado a confiabilidade do serviço e é conseguido oferecendo aos consumidores a escolha de vários níveis diferentes de qualidade em troca de incentivos financeiros.

Os programas de conservação estratégica resultam de ações patrocinadas pela concessionária e destinadas a mudanças no uso final da energia, figura 3.3.

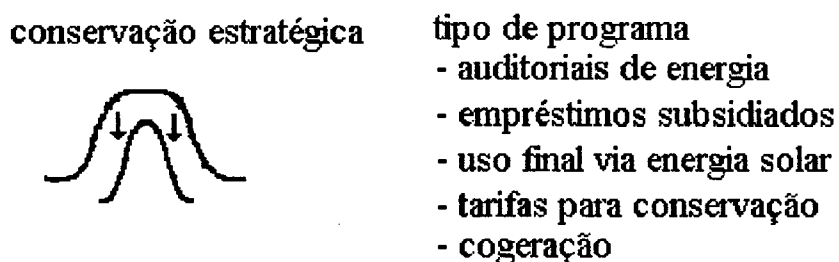


Fig. 3.3 - Conservação estratégica

Já o crescimento estratégico da carga, figura 3.4, consiste na mudança efetuada na curva de carga e que reflete o crescimento nas vendas além do enchimento dos vales já citado. Deve-se, entre outros motivos, ao aparecimento de novas tecnologias envolvendo o uso da energia elétrica.

**crescimento estratégico da carga**



**tipo de programa**

- Bombas de calor
- tarifas promocionais
- novas tecnologias industriais intensivas em energia elétrica
- parcela maior de mercado

Fig. 3.4 Crescimento estratégico da carga

A geração pelos consumidores poderá englobar uma série de alternativas tais como geradores eólicos, energia solar, geradores em estado de reserva operativa, co-geração, pequenas centrais hidrelétricas ou outras fontes independentes de geração.

Embora estas alternativas tenham sido motivadas mais pelo lucro advindo da venda da energia geradas para as empresas de energia elétrica, tais fontes foram logo consideradas como recursos disponíveis às concessionárias pelo lado da oferta, sendo o controle exercido sobre as mesmas mediante contratos ou pelo uso de incentivos tarifários.

Cabe ainda mencionar que o gerenciamento da carga, de um modo geral, procura equacionar vantagens econômicas na operação do sistema com os meios de se evitar uma propagação e ampliação de situações de emergências frente a desbalanços carga/geração, sobrecargas em equipamentos e alterações não previstas no futuro, como por exemplo um crescimento repentino da carga provocado por variações climáticas excepcionais.

A figura 3.5, apresentada a seguir, foi extraída de um trabalho do grupo 39-03 da CI-GRÉ (Comitê Internacional de Grandes Redes Elétricas), em 1992, e procura exemplificar tais aspectos:

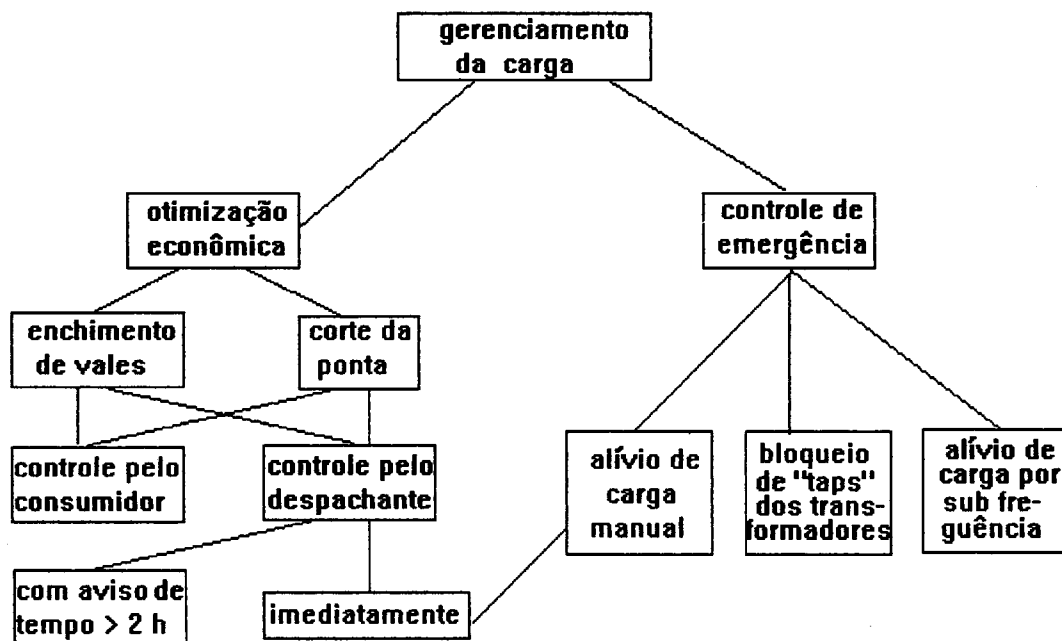


Fig. 3.5 Objetivos de gerenciamento da carga (CIGRÉ, 1992)

Dos métodos de GLD mencionados anteriormente, parece-nos importante examinar com mais detalhes a questão do controle direto da carga pela concessionária, o uso dos incentivos tarifários e o exame do chamado serviço com prioridade ou de qualidade diferenciada, técnicas cada vez mais aplicadas pelas concessionárias de energia elétrica.

### 3.4.1 Controle direto da carga do consumidor

Neste tipo de GLD a concessionária controla o uso final de determinado tipo de equipamento de forma remota ou no próprio local. Através de um canal de comunicação apropriado a empresa irá controlar, por exemplo, aparelhos de ar condicionado, desligando e ligando os compressores por períodos determinados. Aos consumidores participantes são oferecidas vantagens financeiras.

Quando a concessionária quiser desligar a carga do aparelho de ar condicionado, ela envia um sinal a um receptor instalado na residência do consumidor. Este receptor recebe o sinal e aciona um relé (de 3 a 5A, normalmente) e este interrompe o circuito de controle de baixa tensão do ar condicionado, cortando o compressor e o ventilador da unidade. O relé permanece nesta condição (aberto) até que um novo sinal é enviado para religar o equipamento.

A estratégia a ser usada pela concessionária será caracterizada pelo tempo de não funcionamento do aparelho, em termos percentuais, relativo ao período de 1 hora. Assim uma estratégia de 25% seria, por exemplo, ter o equipamento por 7,5 minutos desligado contra 22,5 minutos ligado. No período de 01 hora teríamos então o aparelho fora de operação por 15 minutos, ou seja 25% do tempo.

Concessionárias norte-americanas com este tipo de programa têm divulgado dados que mostram uma redução da demanda da ponta da ordem de 0,6 a 2,0 kW por aparelho de ar condicionado residencial (Delgado, 1985).

Outro dispositivo usado neste controle direto da carga é o termostato e consiste na utilização de um microprocessador, que permite a empresa de energia elétrica controlar as cargas de ar condicionado, através de um acréscimo ou decréscimo gradual na temperatura interna em resposta a um sinal de controle remoto.

Os termostatos usados nos programas de GLD usualmente possuem três modos de operação: normal, para ajuste da temperatura interna e desligado sob condições de emergência. Neste último caso o equipamento de refrigeração ou aquecimento é retirado de operação. Uma lâmpada sinalizadora poderá ser usada para indicar ao consumidor os períodos em que a concessionária está exercendo controle direto sobre a carga.

Uma outra alternativa ao controle por ciclos seria o desligamento remoto das cargas em regime de rodízio. Aqui o ar condicionado estaria fora de serviço durante todo o período, sendo a duração deste período e o número de vezes que tal expediente seria usado no ano especificados no programa. Os consumidores são normalmente divididos em grupos e os desligamentos são efetuados por rotação entre estes grupos.

Outro dispositivo para controle direto da carga é o "relé prioritário", que sente a corrente em circuitos de cargas consideradas prioritárias, isto é, que não podem ser desligadas. Quando tal corrente alcançar determinado valor, pré-especificado, o relé desliga a energia de alimentação de outras cargas não prioritárias.

Um controlador de demanda também pode ser empregado para temporariamente desligar certos tipos de carga. Trata-se de um dispositivo eletromecânico ou baseado em microprocessadores e que pode ser programado para atuar automaticamente, limitando a demanda a um certo valor.

O ajustamento máximo desta demanda seria feito pelo consumidor apoiado numa escala de custos versus nível de demanda. As cargas podem ser desligadas numa sequência pré-determinada pelo usuário ou ainda pelo sistema de rodízio.

Cabe ainda mencionar o chamado "alerta de ponta de carga". Trata-se de uma alternativa de GLD onde o consumidor é notificado, via sistema de comunicação apropriado, da chegada de um período crítico de ponta de carga, sendo solicitado ou obrigado a reduzir seu consumo.

Também poderão ser usados temporizadores para limitar a demanda de ponta, deslocar a carga para após a ponta ou reduzir o consumo pela restrição da operação em alguns períodos do dia. Chaves temporizadas ligariam ou desligariam determinados aparelhos a tempos pré-especificados.

Outros recursos de controle direto da carga não estão junto ao consumidor, isto é, no seu uso final. Tratam-se de medidas aplicadas no próprio sistema da concessionária, tais como redução de tensão, controle dos alimentadores e atuação sobre o fator de potência.

Tem sido citados valores que indicam reduções de 1% na carga para cada 1% de redução no nível de tensão (Delgado, 1985). Evidentemente tais medidas deverão ser tomadas com cautela, de modo a não colocar em risco os equipamentos elétricos dos consumidores.

### **3.4.2 Incentivos tarifários em programas de GLD**

As concessionárias de energia elétrica tem se interessado, cada vez mais, pela adoção de incentivos tarifários com objetivos de gerenciar a demanda pelo lado do consumidor. Entre os incentivos oferecidos podem ser citados os seguintes (Sanghvi, 1989):

- Tarifas de interrupção;
- Tarifas variáveis no tempo;
- Tarifas para blocos crescentes de consumo;
- Serviços de subscrição de demanda;
- Taxas para demanda coincidente;
- Tarificação em tempo real
- Tarifas para o desenvolvimento econômico/incentivos industriais;

As tarifas irão oferecer benefícios tanto para os consumidores como para as empresas de energia elétrica. Para os consumidores os benefícios incluem um maior controle sobre gastos mensais com a energia elétrica, um melhor conhecimento das características de consumo de suas residências ou negócios e ainda permitir um maior contato com novas tecnologias. Os benefícios auferidos pela concessionária incluirão a redução dos custos médio e marginal, retenção de carga, evitar a construção de novas centrais geradoras, encorajar o uso eficiente da energia elétrica e promover a imagem da empresa (EPRI Report RP 2343-4, 1991).

---

As tarifas de interrupção oferecem um crédito aos consumidores caso eles permitam que o suprimento de energia elétrica seja interrompido após um período especificado de tempo que se segue ao aviso da concessionária.

As tarifas variáveis no tempo ("time of use") taxam tanto a demanda como a energia de modo diferente ao longo de determinados períodos, refletindo variações nos custos de produção da empresa concessionária.

As concessionárias que competem com outras formas de energia procuram incentivar o uso do seu produto, oferecendo preços especiais para um maior consumo. Elas procuram tanto manter seus clientes como ampliar suas vendas de energia a tarifas incentivadas para um consumo em blocos crescentes. Outras empresas estabelecem um certo nível firme de consumo e fornecem um crédito aos usuários proporcional a diferença entre este nível e a ponta estimada dos mesmos. A concessionária terá então permissão para, após um período de aviso, limitar o consumo do cliente ao nível de serviço subscrito por até 6 horas e no máximo 15 vezes por ano. Isto é feito via sinal remoto que aciona um disjuntor localizado nas instalações do usuário (Chao et al. 1986).

De modo análogo, procura-se reduzir a demanda coincidente principalmente em horas de ponta de carga, estimulando o uso de determinados equipamentos (armazenamento de calor ou de refrigeração) nos períodos fora da ponta.

A tarifação em tempo real procura não ter valores pré-especificados com muita antecedência para os períodos de ponta ou fora desta; tais valores deverão ser estimados e sinalizados o mais próximo possível do consumo, por exemplo, um dia antes. Pelo grau de utilização pelas concessionárias e potencialidades para o gerenciamento pelo lado da demanda, merecem ser examinadas com maior detalhes as tarifas variáveis no tempo e a tarifação em tempo real.

#### **3.4.2.1 Tarifas variáveis no tempo**

Tais tarifas constituem a forma mais comum de diferenciação de produto na indústria da energia elétrica. As tarifas variáveis no tempo são usualmente mais altas para a energia elétrica consumida em horas de ponta, de modo a refletir os custos marginais advindos da geração neste período.

Um programa adequado de diferenciação de produto no setor elétrico irá requerer mecanismos de preços de fácil implementação, ou seja, capaz de explorar a heterogeneidade das preferências dos consumidores e também consistente com os custos de produção e restrições tecnológicas, incluindo as facilidades de medição do consumo.

A estrutura de custos estará caracterizada pelas alternativas de geração disponíveis e pela flutuação da demanda ao longo do tempo.

A flutuação da demanda é convenientemente representada pela curva de duração de carga  $L(t)$ , figura 3.6. Ela mede o período de tempo, na abcissa, em que o consumo, medido na ordenada, foi igual ou superior a certo valor. Nesta figura  $L(t_i)$  é o valor da carga consumida de modo que durante  $t_i$  horas a carga no sistema foi maior ou igual a  $L(t_i)$  MW.

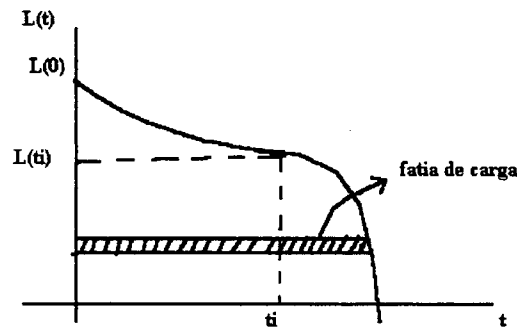


Fig. 3.6 - Curva de duração de carga  $L(t)$

As alternativas de geração ficam caracterizadas em termos dos seus custos de capacidade  $D_i$  por kW e pelos custos de energia  $E_i$  por kWh. Assim, o custo atribuído à alternativa  $i$  será :

$$C_i(t) = D_i + E_i t \quad (3.1)$$

Quando um conjunto distinto de alternativas for usado na geração, a função mínima do custo será dada pela envoltória inferior mostrada na figura 3.7.

Supondo a curva de duração de carga representada por uma pilha de fatias de carga, o custo de geração para uma fatia de duração  $t$  será, segundo a figura 3.6:

$$c(t) = \min c_i(t) \quad (3.2)$$



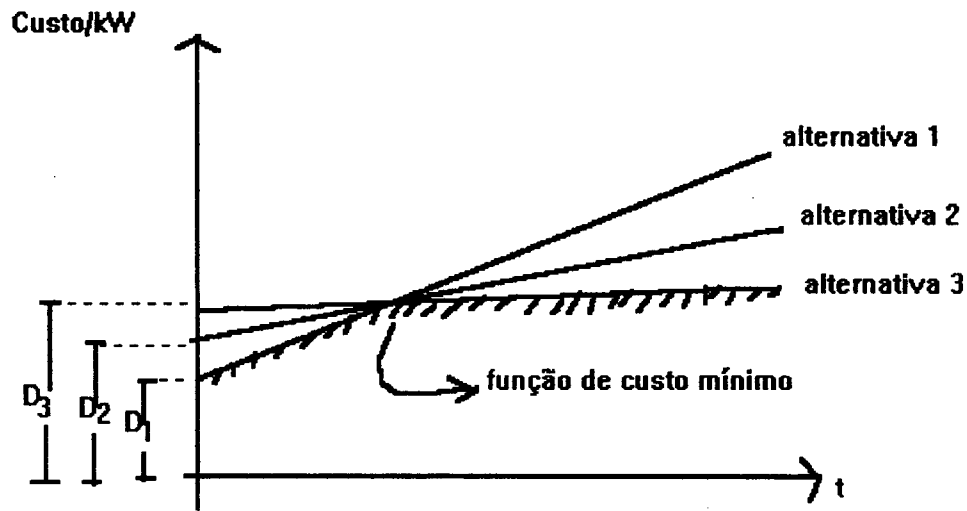


Fig. 3.7- Função de custo mínimo de geração

O custo total de geração será obtido pela integração ao longo da curva de duração de carga entre os limites 0 e  $L(0)$  :

$$c(L(t)) = \int_0^{L(0)} c(t(L)) dL \quad (3.3)$$

Sendo  $t(L)$  definida por (EPRI REPORT RP 2440-2, 1986):

$$t(L) = \max(t \mid L(t) \geq L) \quad (3.4)$$

Uma visão alternativa seria fatiar a curva de duração de carga no sentido vertical o que nos leva, segundo a referência citada, à seguinte equação para o custo total de geração:

$$c(L(t)) = c(0^+) L(0) + \int_0^{t(0)} cm(t) L(t) dt \quad (3.5)$$

onde  $cm(t)$  é o custo marginal de energia da alternativa mais eficiente (melhor tecnologia), por kWh, para a fatia de tempo  $(t, t + dt)$ .

Um custo adicional de capacidade  $c(o+)$ , por kW, iguala ao custo de capacidade de ponta da alternativa e é associado a carga  $L(o)$  que ocorre na ponta do sistema. Assim, uma política de preços baseada no fatiamento ao longo do tempo, resultará numa taxa que é a soma do custo marginal da energia, no período de utilização, mais uma carga de demanda igual ao custo marginal de cada kW usado durante a ponta do sistema.

Face a necessidade de equipamentos de medição apropriados, as tarifas variáveis ao longo do tempo primeiro ganharam aceitação entre os grandes consumidores, onde os custos adicionais desta medição representam somente uma pequena fração da conta a ser paga à concessionária (Keane e Goett, 1988).

Nos Estados Unidos, onde o uso deste tipo de tarifa tem crescido, o interesse na adoção deste expediente para consumidores residenciais somente se acentuou ao final de década de 70, principalmente pelo apoio oferecido pelo Departamento de Energia.

Neste campo específico de consumidores residenciais, alguns autores argumentam (Mc Donald et al. 1991) que esta classe de usuários não possui um nível de demanda assim tão alto, que justifique separar esta demanda da energia consumida. Defendem que o fator de carga desta classe é praticamente constante, de modo a permitir que as tarifas de energia e demanda sejam combinadas em uma só.

No caso mais geral, separando as tarifas de energia e demanda, nomeando as tarifas associadas a demanda e energia como  $D_i$  por kW, e  $E_i$ , por kWh, e ainda chamando o fator de carga como  $f_c$ , então a tarifa unitária  $P_i$  seria:

$$P_i = \frac{D_i}{H_i \cdot f_c} + E_i \text{ (por kWh)} \quad (3.6)$$

sendo  $H_i$  o número total de horas dentro de um período especificado de tempo.

Supondo os requisitos de energia num tempo determinado como sendo  $e_i$ , então a função objetivo seria:

$$FO = \min_{P_i > 0} \sum_{i=1}^n P_i e_i \quad (3.7)$$

sendo FO a função objetivo e  $n$  o número de período do dia. A equação (3.7) deverá ser minimizada sujeita às seguintes restrições:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{H_i \cdot f_c} \cdot e_i - ECT &= 0 \\
\sum_{i=1}^n E_i \cdot e_i - ETE &= 0 \\
D_i^l &\leq D_i \leq D_i^u \\
E_i^l &\leq E_i \leq E_i^u
\end{aligned}
\tag{3.8}$$

ETC = encargos totais requeridos pelas necessidades de capacidade,

ETE = encargos totais requeridos pelas necessidades de energia

$D_i^l$  e  $D_i^u$  = limites inferior e superior da variável associada aos encargos de capacidade

$E_i^l$  e  $E_i^u$  = limites inferior e superior da variável associada aos encargos de energia.

### 3.4.2.2 Tarifação em Tempo Real

A motivação para a tarifação em tempo real é devida às intensas pressões de custos, desafios competitivos, um planejamento sujeito a incertezas face a turbulências ambientais, e outros problemas enfrentados pelas empresas de energia elétrica na sua função de propiciar aos consumidores um suprimento adequado, confiável e econômico.

Como já salientamos, um componente central a qualquer estratégia que lide com tais condições é a flexibilidade, ou seja, a capacidade de resposta rápida e a adaptação efetiva às mudanças ambientais.

Na área tarifária e no gerenciamento da demanda a flexibilidade significa, por exemplo, a habilidade de enviar aos consumidores um sinal correto e objetivando desencadear uma resposta desejada.

As tarifas usualmente empregadas pelas concessionárias, incluindo mesmo a tarifa variável no tempo, partilham algo em comum: são calculadas e oferecidas aos clientes muito tempo antes de sua utilização real. Até que esta utilização se efetive, no entanto, muitas das premissas básicas que nortearam os cálculos poderão ter sido alteradas.

As tarifas em tempo real, ao contrário, serão calculadas e oferecidas praticamente no momento de consumo, minimizando os inconvenientes apontados anteriormente. Entre as vantagens deste tipo de tarifa destacamos (Caramanis et al. 1982):

---

- Redução do consumo de óleo combustível na geração pela elevação explícita dos preços quando este óleo estiver sendo usado.

- Não necessidade de cortes de suprimento em forma de rodízio quando em situação de emergência na rede, pelo uso de preços como forma automática e eficiente de racionamento.

- Facilitar a integração da energia gerada por fontes eólicas, solar e cogeração no sistema, propiciando um mercado que enxergue o verdadeiro valor da energia.

- Permitir um veículo para uma desregulamentação parcial ou total da geração, se isto for julgado necessário.

O custo do suprimento da energia elétrica geralmente varia ao longo do tempo, com a localização geográfica, tensão de alimentação, com o clima e fenômenos hidrológicos e ainda com outras características do sistema e também dos consumidores.

A tarifação em tempo real reflete os custos de produção de curto prazo, ou seja, está baseada no custo marginal de curto prazo da produção, transmissão e distribuição da energia elétrica. Um preço para um produto diante desta ótica de curto prazo, também conhecido como preço "spot" poderá ser equacionado da seguinte forma (Sanghvi, 1989):

$$\text{Preço "spot" ao tempo } t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 \quad (3.9)$$

Onde:  $C_1$  é o custo marginal do combustível da geração no tempo  $t$ ,  $C_2$  é o custo marginal de manutenção do sistema (G, T e D),  $C_3$  é o custo marginal das perdas na rede no tempo  $t$ ,  $C_4$  é o custo da qualidade associada à geração no tempo  $t$  e  $C_5$  é o custo da qualidade associada ao desempenho da rede elétrica em  $t$ .

Os últimos dois itens da equação (3.9) são desprezados, exceto quando o sistema estiver sob condições adversas, isto é, quando a demanda pressiona a capacidade geradora disponível e/ou a capacidade de transporte da rede elétrica.

A menos que a concessionária esteja cronicamente restrita em sua disponibilidade de geração ou existam estrangulamentos no sistema de transmissão, a influência da qualidade do suprimento sobre o preço "spot" será mínima.

As curvas de duração de custo sintetizam a variação do custo marginal ao longo de um dado período de tempo e apresentam os dados em um formato que é facilmente interpretado de modo probabilístico.

Da mesma maneira como a curva de duração de carga define a percentagem do tempo em que a carga excede determinado valor, a curva de duração de custo, figura 3.8, define a percentagem do tempo (horas) em que o custo marginal de curto prazo excede determinado nível.

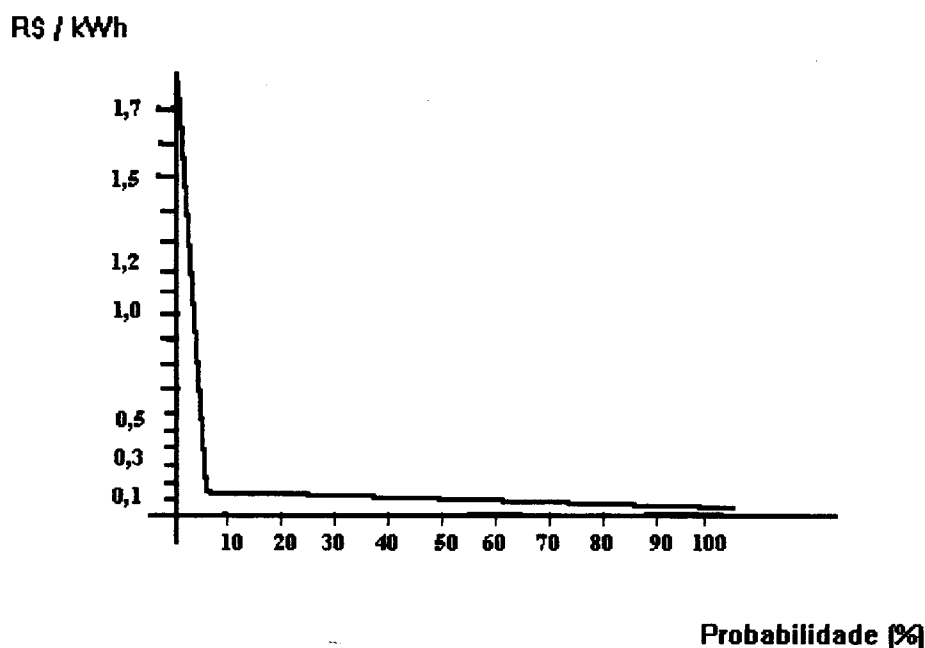


Fig 3.8 - Curva típica de duração de custos (Sanghvi, 1989)

A integral deste tipo de curva, sobre o seu domínio, irá gerar um preço "spot" médio dentro de um período de tempo. Como exemplo, suponha-se uma curva onde a integral entre 3% de probabilidade (preço "spot" de 0,20) e 100% de probabilidade (preço "spot" de 0,05) seja de 0,06 R\$ / kWh. Neste caso, poderá ser feito um contrato com o consumidor estabelecendo o preço de 0,06 R\$ / kWh e estipulando que o serviço poderá ser interrompido até 3% do tempo.

Caso o usuário deseje diminuir esta probabilidade basta pagar o preço "spot" correspondente, recalculando a integral da curva e usando os limites inferiores variando ao longo de valores adequados de R\$ / kWh.

Observar que o preço "spot" baseia-se somente na energia, sendo cobrado na base de R\$ por kWh, os consumidores não pagando um encargo associado à demanda. A razão para

tal procedimento encontra-se na diversidade da carga. Os custos de geração da concessionária dependem da demanda total e os consumidores deverão ser penalizados somente quando contribuírem para a ponta do sistema, não pela sua própria ponta de carga.

### 3.4.3 Serviço com qualidade diferenciada

Tradicionalmente o suprimento de energia elétrica tem sido oferecido de forma homogênea a todos os clientes, independente destes possuírem cargas de natureza variada.

Para usuários com aparelhagem sofisticada e de alta tecnologia, como computadores digitais, por exemplo, requisitos como forma da onda de tensão, intensidade de harmônicos na rede e nível de surtos deverão estar muito bem equacionados. Para outros clientes, uma mínima variação da frequência elétrica será o ponto fundamental.

Por outro lado, se o consumidor trabalha com equipamentos que possibilitam o armazenamento de energia, a interrupção do suprimento durante determinados períodos não será problema, desde que devidamente avisada com antecedência pela concessionária.

Aparece pois a possibilidade de um serviço com qualidade diferenciada, possibilidade esta tornada viável pela evolução tecnológica dos aparelhos de medição e sistemas de controle. Em realidade, este tipo de programa de GLD está baseado no conceito de diferenciação do produto, uma técnica usual de estratégia competitiva (Porter, 1984; Day, 1990).

A diferenciação do produto aparece quando este for percebido pelo consumidor como diferindo dos similares fabricados pelos competidores em alguma característica física ou não física, incluindo o preço (Dickson e Ginter, 1987).

A função demanda,  $Q$ , para um determinado produto oferecido por um fabricante é função do preço  $p$  e das suas características  $x_1, x_2 \dots x_n$

$$Q = F(p, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.10)$$

As características  $x_1, \dots, x_n$ , incluem tanto os atributos físicos como os não físicos, refletindo a imagem e o desempenho do produto. Tais características podem ser englobadas num chamado "vetor de percepções", resultado do amplo espectro de estímulos recebidos pelo consumidor. Mesmo se os consumidores partilharem percepções comuns das características de um produto, não seria certo admitir que eles reagiriam de modo igual a uma oferta do mercado.

Uma razão para tal heterogeneidade é a diversidade da função de demanda  $F$ . A distribuição da função de demanda pode tomar diversas formas tais como uniforme, unimodal ou multimodal. Esta distribuição reflete os pontos ideais dos consumidores num espaço de base dos atributos do produto, onde a função de demanda de cada consumidor,  $F$ , está refletida na localização do ponto ideal.

Nestes termos, debaixo da condição de heterogeneidade da demanda, é possível enxergar o mercado total como um conjunto de submercados ou segmentos, cada um com sua demanda  $Q_i$  determinada por uma única função de demanda  $F_i$ .

Quando uma classe de consumidores puder ser identificada e isolada com base em suas preferências de qualidade, temos a segmentação de mercado.

Vamos considerar uma empresa em regime de monopólio (caso da energia elétrica no Brasil) oferecendo uma unidade de um bem diferenciável para cada consumidor, tendo este uma intensidade de preferência variável em relação a qualidade do bem ( $q$ ). Podemos escrever que a função utilidade é linear em um parâmetro  $s$ , expressando a intensidade de preferência pela qualidade (Kwoka Jr., 1992).

Desprezando efeitos de renda, o custo unitário a qualquer nível de qualidade,  $c(q)$ , é constante, e ainda uma função convexa crescente da própria qualidade, isto é,

$$c'(q) > 0 \quad \text{e} \quad c''(q) > 0 \quad (3.11)$$

Sejam então dois grupos de consumidores, diferenciados pelas suas intensidades de preferência de qualidade,  $s_1$  e  $s_2$ . Neste sentido, a solução eficiente será caracterizada por duas assertivas:

a) Cada grupo de consumidor seleciona aquela qualidade para a qual  $c'(q_i) = s_i$ , ou seja, onde o custo marginal da qualidade se iguala a intensidade da preferência.

b) Para esta qualidade cada grupo paga  $p_i = c(q_i)$ , exatamente o custo unitário para produzir a variante escolhida do produto.

Se o fabricante puder ele irá segmentar o mercado em seu benefício, estruturando as ofertas de modo a induzir a auto-seleção pelos consumidores entre variantes de qualidade com diferentes margens de custo-preço. Vamos admitir que os grupos de consumidores tenham uma relação de preferência  $s_1 < s_2$ .

A firma primeiro eleva o preço do grupo  $s_2$ . Isto pode levar a um deslocamento de consumidores para o grupo  $s_1$ , devido a uma maior apropriação do excedente destes consumidores. Tal deslocamento para baixo poderá ser evitado se

$$s_2 q_2 - p_2 \geq s_2 q_1 - p_1 \quad (3.12)$$

onde  $s_i q_j$  mede a utilidade que o consumidor  $s_i$  obtém ao comprar a qualidade  $q_j$  e  $s_i q_j - p_j$  mede o excedente deste consumidor.

Por analogia, para impedir que o consumidor pertencente ao grupo  $s_1$  saia do mercado

$$s_1 q_1 - p_1 \geq 0 \quad (3.13)$$

De modo a obter a auto-seleção (Kwoka, jr., 1992), tem-se:

$$p_2 = p_1 + s_2 (q_2 - q_1) \quad (3.14)$$

$$e \quad p_1 = s_1 q_1 \quad (3.15)$$

Isto define a combinação preço-qualidade que será oferecida aos dois grupos (sem deslocamento para outro grupo ou saída do mercado).

Supondo ainda  $N_i$  consumidores em cada grupo, o lucro total da empresa será:

$$N_1 (s_1 q_1 - c(q_1)) + N_2 (s_2 q_2 - q_1 (s_2 - s_1) - c(q_2)) \quad (3.16)$$

com as condições de primeira ordem

$$c'(q_1) = s_1 - (N_2 / N_1) (s_2 - s_1) \quad (3.17)$$

$$e \quad c'(q_2) = s_2 \quad (3.18)$$

O monopolista vende a mesma qualidade, como uma empresa competitiva, ao grupo de maior intensidade  $s_2$ . Mas as restrições de auto-seleção requerem que a qualidade a todos os outros grupos seja diminuída pelo segundo valor que se encontra no lado direito da equação (3.17).

Os excedentes tomados aos consumidores variam de um máximo para a classe de maior intensidade até um mínimo para a classe de menor intensidade, mas todos eles perde-



rão seu excedente. Fica claro que os consumidores, as agências de regulação e a legislação vão influir neste tipo de estratégia visto exigirem uma determinada qualidade mínima.

Além do mais, a eficácia ou o sucesso deste expediente fica também sujeita a "disposição a pagar" do consumidor para obter uma qualidade maior. Se o aumento de qualidade for percebido pelo usuário como suficiente para justificar o custo adicional, então a estratégia terá sucesso (Fulmer e Goodwin, 1988).

No campo específico da energia elétrica, os consumidores avaliam de modo diferente os incrementos na qualidade. Alguns não pagarão mais por um suprimento invariável ou um maior consumo na ponta de carga. Deste modo, a concessionária pode compensá-los pela aceitação do nível mais baixo de confiabilidade no suprimento com uma tarifa menor.

De outro lado, aqueles que necessitam (e portanto valorizam) uma maior confiabilidade estarão dispostos a pagar tarifas maiores. Olhada sob esta ótica a diferenciação do serviço é necessária de modo a assegurar que a energia está alocada de modo eficiente entre os consumidores. Aliás este é o argumento usado em favor de tarifas em tempo real, tarifação na ponta e aproximações ao mercado spot.

Para os consumidores os seguintes benefícios podem ser explicitados (Wilson, 1990):

- Oferecido um cardápio de opções de serviço dentro de uma linha de produto com qualidade diferenciada, diferentes consumidores vão preferir diferentes opções. Os consumidores valorizam de modo diferente os incrementos de qualidade.
- Tarifas adequadamente desenhadas para as várias opções de serviço propõem-se a valorizar a escolha do consumidor sem no entanto sacrificar o lucro da concessionária. Esta possibilidade resulta da alocação mais eficiente das unidades de produção e também dos investimentos em tecnologia e equipamentos que permitem ao usuário tirar proveito da opção de serviço selecionada.
- O preço das opções de serviço está necessariamente baseado tanto no valor do serviço como nos custos diretos da concessionária. Os diferenciais de preço compensam integralmente os consumidores, pela maior ou menor escolha da confiabilidade, em termos dos custos aceitos ou impostos aos outros consumidores.

De modo análogo, para a concessionária advirão os seguintes benefícios:

- Opções de serviço de qualidade mais baixa permitem a substituição entre a geração e o gerenciamento da demanda e pode evitar adições à capacidade de ponta.

- Uma variedade de opções de serviço permite enfrentar a concorrência com maior flexibilidade, criando mais valor para os clientes.

- Informações detalhadas pelos consumidores ao escolherem determinadas opções de serviço, são importantes para que a empresa realize seu planejamento de modo mais eficiente, levando em conta as reais intenções dos consumidores em valorizar os investimentos destinados a melhorar a confiabilidade do sistema.

### 3.5 Implementação e avaliação de programas de GLD

Para a implementação de programas de GLD, a experiência tem demonstrado a possibilidade de uso de seis enfoques, não necessariamente mutuamente exclusivos (Limaye, 1985):

a - Programas de educação do consumidor, procurando ensinar ao cliente como conservar a energia elétrica, informando sobre as opções de programas de GLD e como participar destes programas.

b - Programas envolvendo contato direto com o consumidor, por exemplo as auditorias de energia, propiciando um atendimento personalizado ao usuário e atendendo as questões técnicas mais complexas de programas oferecidos.

c - Programas de cooperação envolvendo grupos que podem influir na aceitação de programas de GLD, como os engenheiros e arquitetos.

d - Programas envolvendo promoções e publicidade através dos meios de comunicação, seminários, treinamento, impressão de folhetos e mensagens aos consumidores com informações sobre as opções e tecnologias sendo oferecidas.

e - Programas envolvendo o uso de tarifas alternativas, tais como o incentivo ao consumo fora da ponta, procurando promover técnicas de armazenamento de energia.

f - Incentivos diretos oferecidos pelas concessionárias, que incluem abatimentos, juros baixos ou outro expediente financeiro. Procura-se reduzir a barreira de aceitação melhorando o retorno sobre o investimento feito pelo consumidor.

A tabela 3.1, a seguir, extraída do EPRI REPORT EA/EM-3597, vol. 3, 1984, "Demand-Side Management : Technology Alternatives and Market Implementation Methods", mostra a eficácia da aplicação dos métodos de implementação dos programas de gerenciamento pelo lado da demanda.

Tabela 3.1 - Aplicação dos métodos de implementação de programas GLD (EPRI REPORT EA/EM-3597,1984)

Barreiras para a aceitação pelos consumidores	MÉTODOS DE IMPLEMENTAÇÃO DOS PROGRAMAS DE GLD					
	Educação do consumi- dor	Contato direto com o cliente	Cooperação com grupos de influência	Publicidade/ Promoção	Tarifas alternativas	Incentivos diretos
Baixo retorno sobre o investi- mento					●	●
Alto custo inicial, retorno sobre investimento favorável	◐	◐		◐	◐	●
Falta de conheci- mento, preocupa- ção	●	●	◐	●		
Falta de interesse, motivação		◐	◐	●	◐	◐
Decréscimo no Conforto/Conve- niência	◐	◐			◐	●
Disponibilidade limitada do produ- to		◐	●			
Risco percebido	◐	●	●		◐	●

geralmente aplicável

◐ condicionalmente aplicável

[ em branco] raramente ou não aplicá-

vel

A avaliação de programas de GLD, por seu turno, propicia o conhecimento sobre a economia obtida, em termos de demanda e energia, associada a determinado programa de GLD. O procedimento de avaliação deve estimar, de modo correto, o desempenho do consumo antes e depois de implementado o programa.

Tal avaliação é essencial para a previsão de carga, para o planejamento em geral, para correções em programas em andamento e para aperfeiçoar o projeto e implantação de futuros programas. Medições efetuadas no uso final da energia elétrica, se aplicadas antes e depois de programas de GLD, podem fornecer estimativas precisas da economia de demanda e energia, os efeitos da troca de combustível e do perfil de carga ao longo do tempo.

A moderna tecnologia, principalmente de microprocessadores e também da área de telecomunicações, tem criado um amplo leque de equipamentos que podem ser usados para o monitoramento final do uso da energia elétrica em função da necessidade de dados a serem obtidos e também dos recursos financeiros que se disponha, conforme Almeida e Vine (1994).

### **3.6 Experiência de alguns países no uso de programas de GLD**

As atividades em GLD irão variar de acordo com o planejamento estratégico das concessionárias nos diversos países, a própria situação energética e as peculiaridades de cada nação, incluindo aí o grau de intervenção e/ou regulação do governo no setor elétrico, e ainda as características operativas dos sistemas.

Pela experiência em programas de GLD, merecem ser comentados os progressos feitos pela França e Estados Unidos. À guisa de comparação, também serão citados os esforços realizados por concessionárias brasileiras na área.

No Brasil, em especial, merecem ser comentados os esforços realizados pela ELETROBRÁS, com a criação e manutenção do PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, que busca conscientizar os consumidores para um uso mais racional da eletricidade e também os fabricantes para a construção de equipamentos mais modernos e menos intensivos no consumo da energia elétrica.

Adicionalmente, também são meritórios os procedimentos de algumas concessionárias de energia elétrica, como a CEMIG e a Companhia Paulista de Energia, buscando meios de implantar programas de gerenciamento pelo lado da demanda e trabalhando no sentido de um planejamento integrado de recursos.

### 3.6.1. A experiência da França em programas de GLD

O sistema elétrico francês está baseado na geração nuclear (70%) e na geração hidrelétrica (21%), em dados de 1988 (WG 37/03, CIGRÉ, 1991). A competitividade nos preços advinda da geração nuclear e ainda de alguma capacidade adicional, permitem a França exportar 10% de sua geração total.

O consumo de energia elétrica por setor é o seguinte: 30% de uso doméstico, 25% no comércio e 35% na indústria, sendo 10% da energia exportável. O pico de carga se dá no inverno devido ao uso intenso de aquecimento.

Através da estatal EDF (Electricité de France), o país progrediu bastante no sentido de taxar a energia pelo seu verdadeiro custo econômico. As tarifas são usadas para comunicar esta informação e procurando encorajar o deslocamento da carga, corte da ponta (nos meses de inverno) e enchimento dos vales (nos meses de verão).

A França oferece três categorias de tarifas:

#### a) Tarifas verde

Introduzida em 1957, é uma tarifa variável no tempo e cujos preços dependem da hora do dia e da estação do ano. Naquela ocasião, esta tarifa foi oferecida a 150.000 consumidores conectados na média, alta e extra-alta tensão.

Cinco períodos foram selecionados com preços diferentes, 3 períodos por dia no inverno (outubro a março) e dois no verão. Posteriormente foi feita uma revisão nesta tarifa de modo a adaptar os preços as variações no custo marginal e também para refletir a crescente sazonalidade dos custos (Lescoeur e Galland, 1987). Esta revisão terminou em 1985 e a resposta dos consumidores ao consumo sazonal é significativa, tendo estes usado mais a capacidade produtiva no verão, programado manutenção no inverno e propiciando o uso da eletricidade no lugar de combustível fóssil na produção de vapor no verão, usando sistemas bienergéticos. Tal fato demonstra que a energia elétrica no verão tem tarifa mais baixa que o óleo combustível ou gás, mesmo para a produção de vapor mediante aquecimento elétrico.

#### b) Tarifa azul

Introduzida em 1965, inclui uma tarifa dupla opcional para os consumidores residenciais. Estes utilizam esta opção para o armazenamento de energia (aquecimento de água) e para o consumo de base (aquecimento ambiental).

Esta tarifa encoraja o deslocamento da carga diária e o enchimento dos vales na curva de carga, mediante o oferecimento de dois períodos de consumo: horas normais e horas de baixa carga. Como resultado, o fator de carga no sistema francês cresceu para cerca de 90% em 1987.

c) Tarifa amarela

Para consumidores em baixa tensão cuja demanda contratada exceda 36 kVA foi criada a tarifa amarela. Esta tarifa oferece 04 (quatro) períodos de preços: inverno, verão, horas normais e horas de baixa carga.

O sucesso desta opção tarifária requer cuidados ao especificar os períodos de baixa carga, de modo a não criar picos de consumo nestas horas, ocasionando a necessidade de reforços na rede de distribuição o que, por si só, anularia os efeitos obtidos ao nível da geração. A diferenciação de tarifas por categoria de consumidor resolve este problema, principalmente com a ajuda de dispositivos de controle de carga por sinal remoto.

d) A opção de retirar a carga em dia de ponta

Tal opção aparece em decorrência do período de ponta agora se distribuir por um maior número de horas por dia em um número menor de dias no ano; os dias em que estas pontas irão acontecer, no entanto, não são previsíveis com antecedência.

A tarifa é oferecida tanto para grandes como pequenos consumidores e inclui um período flexível de ponta, consistindo de vinte e dois dias com períodos de 18 h/dia que a EDF escolhe em tempo real e nos quais supõe, com razoável grau de probabilidade, que a carga é tal que unidades de produção na ponta deverão ser instaladas e comissionadas. O consumidor é avisado por sinal remoto e os preços poderão crescer, em relação aos períodos normais, na base de 10 para 1.

e) A opção "modulada"

Baseia-se no mesmo princípio da tarifa anterior e é oferecida a consumidores em alta tensão e extra-alta tensão. Propõe 04 (quatro) períodos tarifários de duração fixa, com a flexibilidade de serem definidos em tempo real pela EDF (Lescoeur e Galland, 1987):

- Período do dia de ponta: 22 dias de 18h, com a mesma definição e preços da tarifa anterior (opção d).

- Inverno flexível: 09 (nove) semanas (exceto os possíveis dias de pico) durante os quais o custo marginal de geração corresponde aos custos de combustíveis das unidades mais ineficientes, que gastam mais, mas com quase nenhum custo de capacidade.

- A estação intermediária flexível: as restantes 24 semanas nas quais é altamente provável que o custo marginal seja limitado a utilização das nucleares.

Esta tarifa modulada pode ser considerada um grande passo em direção a uma efetiva utilização do preço "spot", com a vantagem de que o consumidor está atento a duração específica do preço no período, mesmo que este seja aleatório e comunicado em tempo real pela EDF.

Adicionalmente, as atividades de GLD na França incluem conservação estratégica, crescimento estratégico da carga e curva de carga com forma flexível. A conservação é estimulada pelo uso do aquecimento elétrico nas residências e na boa isolamento térmica destas, de modo a evitar perdas.

### **3.6.2. A experiência dos Estados Unidos em programas de GLD**

Cerca de 300, entre as 3000 concessionárias americanas, implementaram algum tipo de programa GLD. Estas empresas esperam as seguintes vantagens advindas dos programas GLD (WG 37-03, CIGRÉ, 1991):

- Os programas de redução da ponta de carga irão diminuir a demanda na ponta em 17 GW, em um dia de pico no ano 2000.
- Os programas de enchimento dos vales na curva de carga irão aumentar a demanda fora da ponta em 16 GW, em um dia de pico no ano 2000.
- Atividades de deslocamento da carga irão reduzir a demanda de 8 GW e incrementar a demanda fora da ponta em cerca de 8 GW em um dia de pico no ano 2000.
- A conservação estratégica, incluindo a co-geração, irá reduzir tanto a demanda de ponta (em 56 GW) como a demanda fora da ponta (em 76 GW), em dia de pico no ano 2000.
- Programas de crescimento estratégico da carga irão majorar a demanda de ponta em 35 GW e a demanda fora da ponta em 25 GW, para concessionárias com capacidade disponível e em um dia típico de ponta no ano 2000.

Testes e programas-piloto, conduzidos pelas empresas American Electric Power, Arkansas Power and Light, Detroit Edison Company, Pacific Gas and Electric e Southern California Edison, envolvendo o controle direto de aquecedores de água e aparelhos de ar condicionado, mostram que reduções significativas podem ser obtidas na demanda (Davis, 1982). O potencial de redução da demanda irá depender de parâmetros específicos do equipamento controlado. Para aquecedores este potencial varia de 0,8 a 1,5 kW por aparelho, podendo ser um pouco menor em algumas áreas do país (demanda diversificada). Para o ar condicionado a demanda diversificada pode ser reduzida em até 1 kW por equipamento, em

dias muito quentes. Isto exigiria estratégias de ciclos de não funcionamento superior a 25% (item 3.4.1).

Também programas empregando tarifas para interrupção e corte de carga no suprimento tem se tornado usuais entre as concessionárias. Substanciais alívios de carga podem ser obtidos por estes programas, com valores alcançando até 125 MW (Caves et al. 1988).

Em realidade, tais programas de interrupção/ corte no fornecimento são casos especiais do serviço com qualidade diferenciada (item 3.4.3), com um cardápio sendo oferecido ao cliente, relacionando níveis de confiabilidade no suprimento com tarifas específicas para cada caso. Ressalte-se que a distinção entre interrupção e corte é a seguinte: na interrupção o nível de potência firme do consumidor será igualado a zero pela concessionária; no corte este nível poderá ser estabelecido pelo cliente.

No que tange a experiência com a tarifação em tempo real, os resultados tem sido positivos, embora existam exemplos em que a disponibilidade do equipamento de medição/controle restringiu a implementação do programa.

Estas tarifas foram bem aceitas pelos consumidores industriais, face aos incentivos oferecidos. Para os consumidores residenciais ainda são necessários maiores incentivos e assistência, de modo a se obter resposta adequada (Tabors et al. 1989).

Uma outra experiência que merece destaque é o programa de tarifa SOP (Super off-peak) da Southern California Edison. Consiste numa tarifa tipo variável no tempo, na qual o período de vigência e a estrutura de custos são pré-determinados e pré-especificados com bastante antecedência. No entanto (Sanghvi, 1989), os diferenciais das taxas de ponta/fora da ponta são muito mais acentuados do que nas tarifas usuais deste tipo (5:1 contra 2:1). Além disto, o período de ponta é estipulado em 4h, contra o período usual de 6h.

A concessionária PG & E (Pacific Gas and Electric) está promovendo o uso da tarifa "spot" com 03 (três) consumidores industriais que somam 10 MW de carga. Em cada tarde, por volta das 15h, a empresa estima e comunica com 24h de antecedência os preços-spot horários para o próximo dia.

A primeira aplicação residencial da tarifação em tempo real nos Estados Unidos está sendo feita pela George Power Company. Esta empresa oferece um programa em que 80% do tempo a tarifa estará abaixo de valor padrão residencial de 5,5 c /kWh. A informação sobre qual o valor da tarifa no momento é transmitida em tempo real via um sistema bidirecional de comunicação, o qual também oferece serviços bancários, compras, TV, notícias e outros serviços ao usuário, utilizando as instalações de telefone e televisão existentes.



---

### 3.6.3. A experiência do Brasil em programas de GLD

No Brasil os programas de GLD não estão tão desenvolvidos como nos países mais adiantados. No entanto, cabe realçar os esforços da ELETROBRÁS com a implantação e o gerenciamento do PROCEL, Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica, que busca conscientizar o consumidor para um uso racional da eletricidade, e o fabricante no sentido de produzir aparelhos mais eficientes do ponto de vista energético.

O PROCEL foi criado pela Portaria Interministerial nº 1877/85 e engloba o conjunto de ações dirigidas à conservação de energia elétrica no Brasil. Este programa tem por objetivo racionalizar o uso da energia elétrica e, como decorrência da maior eficiência, propiciar o mesmo produto com menor consumo, eliminando desperdícios e assegurando redução global de custos e de investimentos em novas instalações no sistema elétrico (Documentação Básica do PROCEL, 1987).

O programa busca suporte técnico e financeiro para as seguintes ações estratégicas :

- Incremento da análise da política de conservação.
- Inclusão da conservação de energia no planejamento à nível nacional.
- Aperfeiçoamento da base de dados.
- Fortalecimento do relacionamento institucional.
- Aperfeiçoamento do sistema de avaliação e acompanhamento.
- Desenvolvimento de programas de treinamento.
- Obtenção de fundos para financiamento do programa.
- Pesquisa e desenvolvimento de equipamentos de uso final e oferta.

O PROCEL envolve, como participantes institucionais, o Governo Federal, consumidores e/ou fabricantes e o próprio setor elétrico. Por parte do Governo Federal participam a Secretaria da Administração Federal da Presidência da República e os ministérios das Minas e Energia (DNAEE), Meio Ambiente e da Amazônia Legal, Ciência e Tecnologia e também o Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo.

Os consumidores e/ou fabricantes estão representados pela Confederação Nacional da Indústria e pela Confederação Nacional do Comércio. A ELETROBRÁS e o CEPEL respondem pela participação do setor elétrico.

As ações de Informação & Educação, Legislação & Regulamentação, e ainda Tarifas & Incentivos junto a Pesquisa & Desenvolvimento, canalizam para obter a chamada REDUÇÃO DA INTENSIDADE ENERGÉTICA.

Cabe ainda salientar que os cenários do PROCEL para o ano de 2015 tomam como previsão o seguinte quadro, tabela 3.2 (Santos,1994):

Tabela 3.2- Metas de conservação para o ano 2015 (Twh)- Brasil

	Consumo de Energia Elétrica	Perdas em porcento	Geração TWh
Sem Conservação	668	17	782
Com Conservação	593	10	652
Economia	75 (Uso final)		130 (Cons.Global)

Como pode ser observado na tabela, os cenários contemplam uma economia de 130 Twh na conservação global, acrescentando cerca de US\$ 34 bilhões à Poupança Nacional. Saliente-se que no período 1986/1993 foram investidos US\$ 24 milhões em conservação de energia no Brasil, o que permitiu uma redução de investimentos da ordem de US\$400 milhões, ou seja, uma relação custo-benefício de 1:17 entre os investimentos em conservação e investimentos evitados.

Outra atividade importante de GLD no Brasil é consequência da tarifação horo-sazonal (THS), que propõe o custo marginal como ponto de referência econômico para a estrutura tarifária do país.

Com o esgotamento dos potenciais hidrelétricos mais próximos aos grandes centros de carga, serão buscadas alternativas mais distantes, encarecendo o custo marginal médio, que deverá atingir valores da ordem de US\$ 35/MWh por volta do ano 2000 (Bitu, 1986).

Existem duas versões da tarifação horo-sazonal: a tarifa azul e a tarifa verde. A primeira se aplica a consumidores ligados em alta tensão, acima de 69 kV, e consiste de preços diferentes para a demanda e energia, dependendo da hora e mês do ano.

A tarifa verde se aplica aos consumidores ligados em média tensão (entre 2,3 kV e 69 kV) para demanda abaixo de 500 kW. Neste tipo de tarifa os preços variam para o consumo de energia, dependendo da hora do dia e época do ano, enquanto os encargos relativos a demanda permanecem inalterados.

Conseguiu-se com a implantação da THS um aumento no fator de carga do sistema interligado de 75% em 1982 para 80% em 1986 e uma redução na demanda de ponta de 1480 MW (WG 37-03, Cigré, 1991).

Outra experiência que merece ser destacada é a técnica de modulação dinâmica, introduzida pela CEMIG, em Minas Gerais. Esta técnica foi utilizada face a observação, na curva de carga da empresa, de profundos vales no período que antecede a ponta no verão, chegando a proporções bem acentuadas em 87/88 e atingindo valores de carga mínima (Lage e Cardoso, 1991).

Isto coloca sérios problemas operativos para a empresa e para o sistema interligado, pela abrupta variação de carga média para carga mínima e logo após para despacho em carga pesada. Tal fato era devido ao deslocamento da ponta, ocasionado tanto pelo horário de verão como pela própria tarifação horo-sazonal. Este deslocamento deixou a ponta fora da faixa de máxima modulação contratual da THS (18 às 20 horas), passando esta a incidir sobre a carga média do segmento primário mais secundário ao invés da carga máxima, levando, em consequência, a uma diminuição na carga total, situando-se esta ao nível da madrugada.

O problema foi solucionado pela alteração no horário de ponta de 18 grandes consumidores, tendo estes deslocado a ponta do horário de 17 às 20 horas para o período de 19 às 22 horas.

Estendida também para o inverno, a técnica de modulação dinâmica atendeu plenamente aos seus objetivos: redução da ponta e enchimento do vale (verão) e redução da demanda de inverno, a maior da empresa. Neste caso, o deslocamento da ponta de 14 grandes consumidores, após negociação, se deu do horário das 19 às 22 horas para o período entre 18-21 horas.

Aproveitando a experiência adquirida, a CEMIG solicitou ao DNAEE, Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, uma maior flexibilização na aplicação da THS, o que levou à Modulação Dinâmica Especial (Lage e Cardoso, 1995). Os maiores ganhos advindos desta técnica foram a redução da demanda máxima dos sábados, que praticamente igualou a ponta dos dias úteis e a atenuação dos vales nas malhas regionais Norte e Sudeste, ocasionando um melhor perfil de tensão nestas malhas e no sistema como um todo.

Devido aos efeitos da Modulação Dinâmica Especial no comportamento das cargas das regiões Norte e Sudeste e, ainda, à redução da expectativa de crescimento das respectivas demandas máximas, será possível adiar obras destinadas ao controle de tensão e reforços programados no sistema de 345/500 kV, representando adiamento do montante de investimentos da ordem de US \$ 10 milhões.

Cabe aqui mencionar que a própria introdução do horário de verão é uma medida destinada a reduzir a de

manda de energia, embora os seus resultados não sejam tão significativos face as condições geográficas e climáticas do país, principalmente nas áreas mais ao Norte.

Também merece destaque o esforço de planeamento de mercado empreendido pela CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz. É o chamado Projeto PROPLAN, Programa de Planeamento de Mercado, que tem por finalidade estudar, detectar e propor ações em alguns consumidores para promover adiamento ou ainda eliminação de algumas obras (Zaguis et al. 1991). Apropriado numa estrutura adequada de informações que englobam diversas atividades, o programa pretende, em uma avaliação inicial, postergar a construção de duas novas subestações de 138 kW, 25 MVA, por cerca de dois anos cada, o que representa uma redução dos investimentos da empresa da ordem de US\$ 4 milhões/ano.

### 3.7. Resumo

Neste capítulo abordou-se a questão da escolha de um programa de GLD, da sua implantação e gerenciamento e ainda a experiência internacional na utilização desta estratégia.

Foram comentados os critérios que norteiam a utilização de programas de GLD, os impactos sobre os consumidores e concessionárias e também sobre a sociedade como um todo.

Salientou-se a importância de considerar tais programas como recurso de planeamento técnico (econômico-financeiro), sistêmico, operativo e também ambiental, poupando a utilização de combustíveis críticos.

Comentaram-se os tipos de programas de GLD, envolvendo tanto o controle direto como o indireto da carga.

Ênfase foi dada aos incentivos tarifários (sinal de preço), procurando analisar principalmente as tarifas variáveis no tempo, a tarifação em tempo real e o serviço com qualidade diferenciada.

Foram apresentados os principais programas em uso na França e nos Estados Unidos da América, países onde é maior a experiência de utilização do GLD, bem como os esforços do Brasil nesta direção.

Como o sucesso de um programa de GLD envolve a sua aceitação e adoção por parte dos consumidores, o próximo capítulo examinará em detalhes a importante questão da resposta dos consumidores a programas de GLD.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESPOSTA DO CONSUMIDOR FRENTE A PROGRAMAS DE GLD**

#### **4.1 Introdução**

Levar o consumidor a conservar energia não tem sido uma tarefa fácil, principalmente face ao estilo de vida e padrões de desenvolvimento seguidos pelas nações modernas. As tentativas ou planos de governo nesta direção tem-se pautado, geralmente, por uma das seguintes alternativas:

- Legal-regulatória
- Tecnológica
- Econômica (taxas e subsídios)
- Educação pública
- Abordagem direta ao consumidor.

Estas alternativas já foram, de algum modo, comentadas no capítulo III, ao se descrever os diversos programas de GLD, seus impactos e dificuldades de implementação.

Uma outra alternativa, advinda de uma sociedade atenta aos desperdícios e consciente da finitude dos recursos naturais, poderia ser chamada de "Marketing Social" (Henion II, 1981). Baseada num comportamento voluntário dos consumidores contra as perdas desnecessárias e por uma política que reflita o custo total à sociedade, não os custos privados, tal sociedade enfatiza um padrão seletivo de crescimento, no sentido de realizar mais com menos recursos.

Sinaliza contra os malefícios, principalmente nos países do terceiro mundo, de tecnologias poupadoras de mão-de-obra e intensivas em energia. Aponta para o conceito de reciclagem dos produtos e encara o lixo municipal como um bem econômico.

Este tipo de marketing é dirigido à conscientização social do indivíduo, daí a razão do seu nome. As mudanças sociais desejadas são os efeitos dos esforços organizados por grupos (agentes de mudança) que pretendem persuadir outros grupos (segmentos-alvo) a aceitarem, modificarem ou abandonarem certas idéias, atitudes, práticas ou comportamentos. As mudanças sociais podem se situar em quatro níveis (Papadink, 1994):

a) Cognitivas: Visam a passagem de informações, de forma simples e direta, a um segmento alvo.

b) Mudanças de ação: Procura induzir um número máximo de indivíduos a realizar uma ação específica durante determinado período.

c) Mudanças de comportamento: Visa induzir o indivíduo a alterar seu comportamento perante situações que, em geral, lhe são prejudiciais ou afetam um grupo social qualquer.

d) Mudanças de valor: Procuram alterar os valores dos indivíduos e não são fáceis de serem conseguidas visto que os valores das pessoas encontram-se enraizados em seu sistema psicossocial. De um modo geral deveriam ser precedidas por uma ou mais das etapas anteriores.

Outros observadores, por seu turno, alegam que as alternativas de taxaço do consumo, aumentos de preços e até mesmo o racionamento é que são, de fato, eficazes na conservação. Os consumidores, em suas atitudes, variam de uma total indiferença ou mesmo cinismo, achando que não existe crise energética, até o engajamento em ações ecológicas pela militância em organizações não governamentais, passando também por aqueles que pensam que para qualquer problema existe uma solução tecnológica.

Michael Belch, em um artigo de 1979 e citado por Henion II, 1981, mostra que o segmento de consumidor mais provável de se preocupar com os problemas advindos da falta de energia, níveis de poluição, ecologia e problemas de saúde da população, parece ser o liberal; este é confiante, sobre o presente e futuro e ativo fisicamente, sendo ainda socialmente engajado. Belch entretanto adverte sobre limitações à generalização destes resultados, face a localização do experimento e ao tamanho da amostra.

Cabe salientar o que se entende por perfil liberal nos EUA, conforme nos ensina Kerlinger(1980). Segundo este autor os liberais seriam aqueles que acreditam que os programas de bem-estar social deveriam ser fortes, que negros e mulheres deveriam ter igualdade total, que as rendas deveriam ser taxadas de modo progressivo, que os negócios deveriam ser regulamentados e ainda que seria permitido às mulheres a prática do aborto, se estas assim o desejassem. Como se percebe, tal conceito é distinto daquele adotado no Brasil.

Os conservadores, por seu turno, enfatizam a importância da religião e da igreja, expressam fé no capitalismo, na propriedade privada, nos negócios, no uso da disciplina, no sentimento do dever e acreditam que as relações sociais devem se apoiar no princípio da autoridade.

À guisa de ilustração vale mencionar que um estudo realizado sobre consumidores residenciais, conseguiu segmentar os consumidores em 06 (seis) componentes (EPRI Report RP 2343-4, 1991):

- Os que buscam e valorizam os prazeres da vida - não estão dispostos a aderir a programas que podem causar inconveniências, independente dos níveis potenciais de economia/conservação.
- Os que gostam de demonstrar conscientização - são os primeiros a aderirem aos programas, gostam de ser inovadores.
- Os que buscam valor - aqueles que esperam para aderir aos programas à medida que o nível de benefícios potenciais cresça.
- Os conservadores de recursos - esperam que todos se ofereçam para os programas de conservação, mesmo se a opção tarifária/incentivos não for tão atraente.
- Os que possuem estilo de vida simples - não se interessam por programas complicados, com níveis crescentes de complexidade.
- Os que evitam problemas - não estão dispostos a serem contactados nem procurar os ofertantes dos programas de GLD, mesmo se estes acenarem com grandes benefícios.

Um estudo realizado pela New York State Electric and Gas Company, a NYSEG, encontrou que os três primeiros segmentos de consumidores respondem por quase 80 % do mercado alvo para sistemas elétricos dirigidos ao armazenamento de energia térmica. As pesquisas da NYSEG também confirmaram que os consumidores residenciais de energia elétrica consideram outros fatores, além do preço, ao decidirem em participar, ou não, de programas de GLD.

Fica evidente que a mensagem ou a estratégia a ser dirigida a cada um destes segmentos deverá ser adequada às suas particularidades.

De um modo geral, no intuito de melhor entender a reação e o comportamento dos consumidores, alguns procedimentos e técnicas devem ser empregados no sentido de identificar as variáveis que regem este comportamento. Faz-se, portanto, útil, uma visão global das ações empreendidas neste tipo de pesquisa.

## **4.2 Uma visão global sobre a pesquisa de consumo de energia**

As pesquisas relativas ao consumo de energia podem ser dividida em dois grandes blocos (Mc Dougall et al.,1981).

a) Pesquisas que se pautam, principalmente, em entender o consumidor, ou seja, o que este pensa e faz sobre conservação de energia. Estão baseadas em métodos de medição (levantamento) e lançam mão das seguintes técnicas:

- Pesquisas de opinião - perguntando ao consumidor o que ele pensa sobre a situação energética.
- Dados reportados pelos próprios consumidores em resposta a questões sobre o que estes têm feito para conservar ou usar adequadamente a energia.
- Pesquisas de adoção-difusão, comparando quem adota ou não comportamento/tecnologias de conservação.
- Modelando o consumo de energia, tal como obtendo o valor real da energia consumida numa residência, e tentando explicar alterações neste consumo mediante variáveis apropriadas.

As pesquisas de opinião e os dados reportados pelos próprios usuários refletem o padrão de resposta destes e inclusive o próprio estilo de vida. Dependendo da ocasião, da maneira como age o entrevistador ou ainda, do entendimento das questões que serão respondidas por escrito pelo consumidor, ações de conservação explicitadas nem sempre corresponderão a realidade.

No que tange a modelagem do consumo de energia, principalmente o residencial, as variáveis de interesse (ou de previsão) tem incluído atitudes, clima, demografia e características construtivas das edificações e dos aparelhos elétricos. As variáveis demográficas, como a renda e o tamanho da família, tem mostrado uma associação consistente com o consumo de energia. O mesmo pode se dizer em relação ao clima e características construtivas das residências.



As variáveis atitudinais, por seu lado, também parecem ter uma correlação com o consumo de energia, embora o pouco número de trabalhos neste particular impeça uma evidência mais abrangente sobre o nível de significância desta correlação.

b) Pesquisas que se baseiam, principalmente, no impacto das medidas e iniciativas de conservação, ou seja, quais ações os consumidores tomaram ou irão tomar em relação aos programas de conservação de energia. Estes tipos de pesquisas geralmente utilizam métodos de manipulação experimental e lançam mão das seguintes técnicas:

- Ações de informação, comunicando aos usuários características dos programas de GLD, efetuando auditorias nas residências, enviando dados aos consumidores sobre as variações no consumo de energia e outras ações no gênero.

- Ações de incentivos, como recompensas, créditos e menores encargos e tarifas, buscando estimular medidas de conservação.

- Iniciativa que visam desestimular o consumo através do aumento de preços, com a pesquisa se concentrando na análise econométrica de dados agregados.

- Restrições, englobando pesquisas relacionadas a racionamentos e cortes da energia elétrica.

De particular importância neste tipo de pesquisa é o custo da mesma, verificando o custo-benefício da informação adquirida. Também devem ser analisados com cautela os resultados oriundos de amostras restritas e de experiências de curta duração.

É interessante ressaltar a eficácia de seminários e de encontros com a comunidade para incentivar a conservação e o uso racional da energia elétrica. Comparações feitas nas residências de 40 participantes de uma destas promoções (Geller, 1981) não mostraram diferenças significativas, no que tange à medidas de conservação, em relação a 40 residências de pessoas de que não participavam daqueles eventos.

Esta constatação sugere que os esforços de avaliação dos programas de conservação deverão incluir verificações nos índices auto-reportados, inclusive pela utilização dos dados de consumo indicados pelos medidores e contas de luz. Por outras palavras, reuniões, o envio de informações e promoções pela mídia, por si só, não são condições suficientes para promover a conservação da energia, a menos que sejam complementadas com outras técnicas para motivar a ação, como por exemplo, redução na conta caso se verifique a diminuição no consumo.

Por outro lado, uma dificuldade maior nas pesquisas de consumo de energia é a sua natureza interdisciplinar. Os estudos englobam modelos psicológicos de comportamento, perspectivas econômicas, atitudes, intenções, teoria sociológica, difusão de inovações, mode-

los de influência de grupos, características da decisão em família, estilo de vida, consciência ambiental e outras variáveis, mostrando o caráter fragmentado desta área (Mc Dougall, 1981).

Alguns trabalhos, objetivando captar a maior parte possível destes aspectos, podem, inclusive, envolver mais de uma fase, visando obter resultados mais consistentes e confiáveis.

Tal é o caso da pesquisa realizada na cidade de Edmond, Oklahoma, EUA, entre 1/03/1977 e 30/11/1978 (Kasulis et al., 1981). Este experimento, que buscava observar a viabilidade de mudanças no padrão de consumo de residências, foi concebido em três estágios:

- Avaliação pré-experimento, propiciando uma descrição geral da comunidade e servindo de base para a seleção das residências que participariam do estudo.
- O experimento, propriamente dito, envolvendo grupos de controle e uso de tarifas diferenciadas.
- Avaliação pós-experimento, com análise dos resultados e novas entrevistas para fins de validação das respostas firmadas nos questionários.

Já mencionamos, anteriormente, que o uso da informação e da mídia deve ser complementado com técnicas que estimulem a ação do consumidor. Este, a menos que esteja amplamente conscientizado e engajado em termos de conservação, somente irá responder quando sofrer restrições no fornecimento (cortes e/ou interrupções) ou ainda quando sentir os efeitos de majorações nas tarifas de energia elétrica.

Parece-nos pois, oportuno, examinar a influência da conscientização no consumo bem como as atitudes dos consumidores frente a restrições no fornecimento da eletricidade e a reação destes em resposta a sinal de preço.

#### **4.3 A conscientização e o consumo de energia elétrica**

A conscientização do consumidor quanto ao uso racional da energia elétrica pode ser encarada como o resultado final de um amplo trabalho de informação, propaganda, atividades de legislação/regulação, sobretudo de educação pública, da seriedade de propósitos e da política educacional empreendida pelo Estado. Esta educação deve ser entendida em seu aspecto mais amplo, no sentido dos esforços desenvolvidos na formação do cidadão, do indivíduo que participa e procura influir nos destinos do seu país.

Compreendendo a questão energética, a sua importância para o desenvolvimento da nação e a correta distribuição de recursos, para que todos tenham acesso, em maior ou menor escala, aos benefícios advindos da energia, o cidadão consciente estará permanentemente pronto a colaborar com medidas de conservação.

A questão da informação e das promoções que desestimulem o consumo em algumas ocasiões ou até o estimulem em períodos favoráveis na produção, deverá ser corretamente monitorada pela concessionária. A conscientização seria, assim, a justa percepção de quando consumir e do quanto consumir, olhando tanto as necessidades econômicas do país como a conservação dos recursos naturais da nação.

Para analisar a questão da promoção, vamos supor uma empresa de energia elétrica sujeita a regulação. Seu lucro será dado pela expressão a seguir (Kaserman e Mayo, 1985):

$$L = P_R Q(P_R, X, A) - C_P(Q(P_R, X, A)) - C_A(A) \quad (4.1)$$

Sendo:

$P_R$  o preço fixado pelo órgão regulador,

$A$  a quantidade de publicidade e

$X$  um vetor de fatores exógenos da demanda, como a renda e o preço da energia que pode substituir a elétrica.

$Q(P_R, X, A)$  será a quantidade de energia elétrica demandada (vendida) ao nível de  $P_R$ ,  $X$  e  $A$ , sendo  $\frac{\partial Q}{\partial A} > 0$  para publicidade ou promoções que estimulem o consumo e sendo  $\frac{\partial Q}{\partial A} < 0$  para promoções que enfatizem a conservação.

$C_P(Q(P_R, X, A))$  será o custo total de produção, uma função da quantidade produzida e  $C_A(A)$  sendo o custo total da atividade publicitária, com  $\frac{dC_A}{dA} > 0$ . A condição de primeira ordem para maximizar o lucro, num esquema de regulação a curto prazo seria:

$$(P_R - \frac{dC_P}{dQ}) \frac{\partial Q}{\partial A} = \frac{dC_A}{dA} \quad (4.2)$$

Como  $P_R$  é fixado igual ao custo médio,  $P_R - \frac{dC_P}{dQ}$  será maior do que zero quando os resultados da empresa estão em região de custo médio declinantes.

Como os custos médios de produção tem crescido a partir dos choques energéticos na década de 70, pressupõe-se que as campanhas promocionais deverão se situar no sentido da conservação energética.

O que cabe determinar, porém, é qual é a efetividade deste tipo de ação, ou seja, a elasticidade da variável promoção em relação ao decréscimo no consumo de energia. Isto só poderá ser conseguido mediante um projeto de pesquisa que examine o impacto das promoções sobre o consumo ao longo de um determinado período.

No entanto, a variação no consumo não se deve somente a um fator isolado; outros itens de importância estão presentes, como a questão demográfica, as características das residências, consciência ecológica e social, estoque de equipamentos elétricos, nível de renda e outros fatores. Neste sentido, cabe relatar o projeto de pesquisa levado a cabo na cidade canadense de Guelph (Heslop et al. 1981).

Este estudo exploratório foi planejado para examinar os efeitos da consciência de preço, a conscientização social, a conscientização da conservação energética, consciência ambiental e outras características demográficas e residenciais das seguintes variáveis dependentes:

- O consumo de kWh das residências para cada ano entre 1973 e 1978, e o consumo total no período 1973-1978.
- Alterações no consumo de energia ao longo deste período de 6 anos.
- O grau de aceitação de políticas alternativas para restringir o consumo, um conjunto com 12 itens de iniciativas possíveis para reduzir este consumo, desde o estabelecimento de medidas compulsórias para fixar um nível máximo até o fornecimento de informações aos consumidores.

De uma amostra selecionada de 1000 residências, 136 participaram da experiência, respondendo a um questionário enviado, tendo-se assim uma taxa de resposta de 13,6%. As questões colocadas aos consumidores constavam de 17 itens relacionados a responsabilidade social, 14 itens sobre consciência de preços, 13 sobre conservação de energia e 11 ligados a conscientização ambiental. Os consumidores registravam o grau de concordância com as questões colocadas mediante o uso de uma escala de Likert com 06 (seis) pontos. Adicionalmente, era feito o acompanhamento do consumo de cada residência através de dados fornecidos pela concessionária local. As conclusões do trabalho foram as seguintes:

"A sensibilidade ao aumento nos preços parece ser muito mais relevante, no que tange ao uso da energia, do que as variáveis relacionadas à conscientização comumente empregadas nos estudos. O estoque de bens de capital e o tamanho da residência também são determinantes quanto ao uso da energia, bem como as variáveis relacionadas a atitudes diante dos preços. A elevação dos preços é geralmente reconhecida como um dos meios mais efetivos de inibir o consumo, mas elevar a sensibilidade aos preços também pode ser muito efetivo."

#### 4.4 Reações dos consumidores frente às interrupções no fornecimento de energia

As restrições no fornecimento da energia elétrica variam desde uma degradação na qualidade até a interrupção total do suprimento. O corte ou a interrupção deste suprimento poderá ser acidental, devido a distúrbios no sistema elétrico ou então ser planejado, seja por razões ligadas a capacidade do parque gerador, seja em decorrência de programas de GLD.

Este último caso, que nos interessa no momento, pressupõe que os consumidores que aceitem ter sua carga (ou parte desta) interrompidas/cortadas, deverão ter uma compensação em termos de tarifas menores. O estabelecimento destas tarifas, por seu turno, não é tarefa fácil, necessitando a avaliação e conhecimento de muitos fatores, incluindo saber quanto custa para o consumidor a falta da energia elétrica.

Em geral os consumidores se preocupam com a frequência e a duração das interrupções, tolerando mais facilmente uma maior frequência de cortes com menos duração, do que poucos cortes de longa duração.

A este respeito, uma pesquisa efetuada pela concessionária americana "Pacific Gas and Electric Company" (EPRI Journal, March 1986) perguntava aos consumidores o que eles iriam preferir, entre três alternativas:

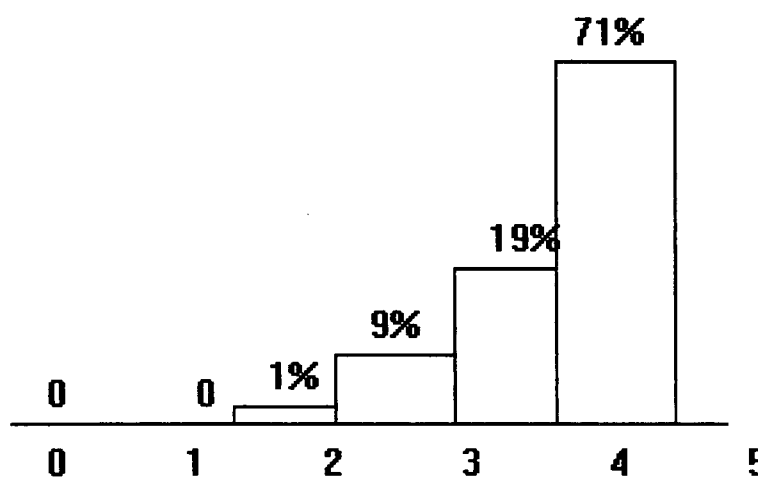
- a) Uma redução de 10% nas tarifas da empresa, porém sujeita a dobrar o número de interrupções, ou
- b) Um aumento de 10% nas tarifas em troca de diminuir pela metade o número de cortes no fornecimento, ou
- c) Manutenção das atuais tarifas e do nível de confiabilidade oferecido pela empresa.

Os consumidores industriais e comerciais enfatizaram, em sua maioria, a necessidade de níveis maiores de confiabilidade, revelando profunda sensibilidade em relação aos custos da falta de energia elétrica. Já os consumidores residenciais, por ampla maioria, aceitaram reduzir a confiabilidade em troca de tarifas menores.

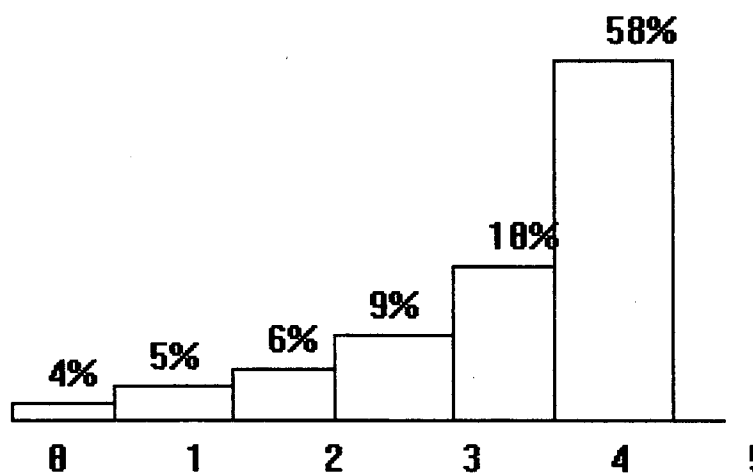
Neste caso específico dos consumidores residenciais, cabe também mencionar uma pesquisa realizada para verificar o grau de desconforto e ansiedade resultante das interrupções de energia elétrica (Shalan, 1989). Os consumidores foram solicitados a responder, baseado numa escala que variava de 0 (nenhum efeito indesejável) até 5 (extremamente indesejável) o seu nível de desconforto resultante da impossibilidade de usar os seus aparelhos eletrodomésticos como os equipamentos da cozinha, máquinas de lavar, ar condicionado, luz, televisores, gravadores, vídeo-cassete, micro-computadores e outros aparelhos de lazer.

de energia elétrica (Shaan, 1989). Os consumidores foram solicitados a responder, baseado numa escala que variava de 0 (nenhum efeito indesejável) até 5 (extremamente indesejável) o seu nível de desconforto resultante da impossibilidade de usar os seus aparelhos eletrodomésticos como os equipamentos da cozinha, máquinas de lavar, ar condicionado, luz, televisores, gravadores, vídeo-cassete, micro-computadores e outros aparelhos de lazer.

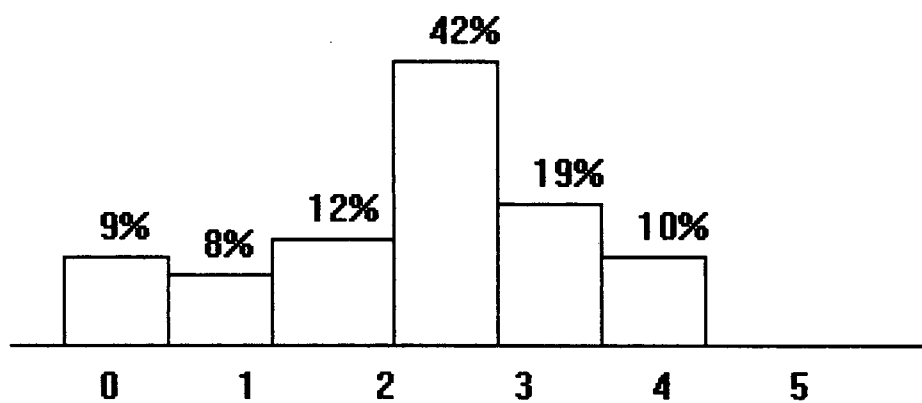
As respostas mostraram que os equipamentos mais críticos seriam o ar condicionado, seguido da luz, instalações da cozinha e máquinas de lavar. Os aparelhos relacionados ao lazer e entretenimento apareceram em último lugar na lista de preferência. Estes resultados estão mostrados na figura 4.1 e, cabe realçar, foram obtidos na cidade de Riyadh, na Arábia Saudita, revelando aspectos culturais e climáticos nesta escolha.



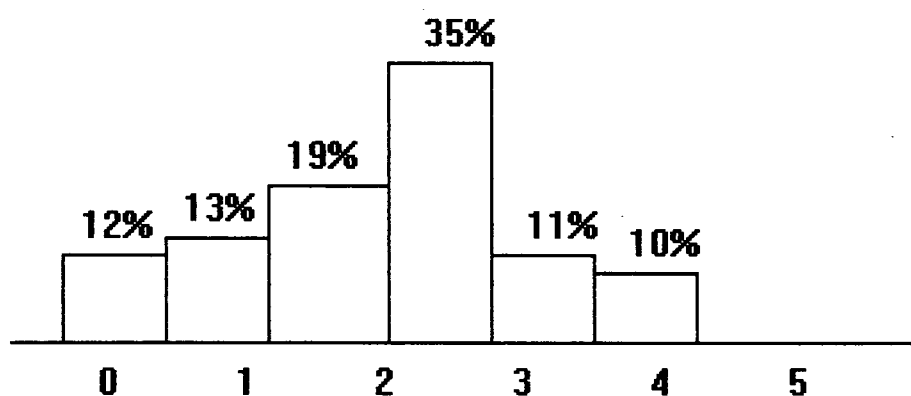
(a) - Ar condicionado (média = 4,60)



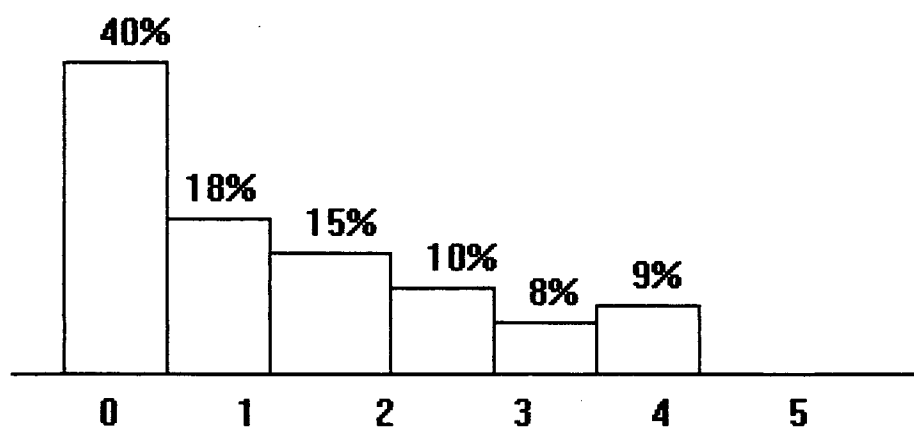
(b) - Iluminação (média = 4,06)



( c ) - Aparelhagem da cozinha (média = 2,84)



( d ) - Máquina de lavar (média = 2,50)



( e ) - Lazer/entretenimento (média = 1,55)

Fig. 4.1 - Nível de desconforto das interrupções (Shaalán, 1989)

O impacto de uma falha no abastecimento de energia elétrica varia de forma significativa entre os vários tipos de consumidores, sendo função do "grau de dependência" deste em relação ao suprimento e ainda em que medida a produção, ou outra atividade afetada pela falta de energia, poderá ser recuperada após o restabelecimento do serviço. Caso as falhas no suprimento ocorram freqüentemente, o consumidor irá tomar medidas de forma a reduzir o impacto das interrupções subseqüentes.

Esta resposta adaptativa do consumidor irá ocorrer, principalmente, quando a concessionária enfrenta restrições de energia, ao contrário das interrupções motivadas por falta de capacidade, tipicamente de curta duração (Camargo, 1992).

Muitos consumidores experimentam dificuldades em prever e quantificar as dificuldades advindas de futuros cortes de energia, principalmente se já se passou muito tempo desde a última falha. Neste sentido, uma visita pessoal de técnicos ao cliente será muito mais eficaz do que consultas telefônicas ou o envio de questionários (Le Blanc, 1988).

Geralmente os consumidores optam por participar de programas de interrupção/corte de carga patrocinado pela concessionária, ou até mesmo adquirir equipamento de geração para atuar em emergências, quando tiverem substanciais vantagens tarifárias.

O programa que oferece um serviço envolvendo corte ou interrupção possui um potencial muito amplo em termos de gerenciamento pelo lado da demanda. Tais programas propõem aos consumidores um crédito nas contas de luz, graças ao qual o cliente concorda em reduzir a sua carga abaixo de um certo nível acordado entre as partes, *o nível firme de potência*, quando requisitado a fazê-lo pela empresa.

Os consumidores que já estiverem abaixo deste nível firme, não contribuirão para o alívio de carga quando este for preciso. Aqueles que se encontrarem acima do nível irão propiciar valores diversos no alívio da carga, dependendo da flexibilidade do seu processo de produção, as penalidades impostas em caso de não atendimento e do nível desejado de corte para satisfazer as necessidades do sistema elétrico. O período de notificação ao cliente para que este reduza a carga ao nível acordado varia de cerca de 30 minutos até 24 horas em condições normais.

Para o período de recuperação, após o término do corte, o consumidor terá três alternativas (Caves et al., 1988):

- Retornar imediatamente ao padrão normal de consumo.
- Permanecer abaixo dos níveis de uso normal por mais algum tempo, devido a não-flexibilidade nos processos de produção.



- Aumentar o nível de consumo para recuperar a produção.

Em geral a resposta do consumidor em relação a uma interrupção segue o esquema da Figura 4.2.

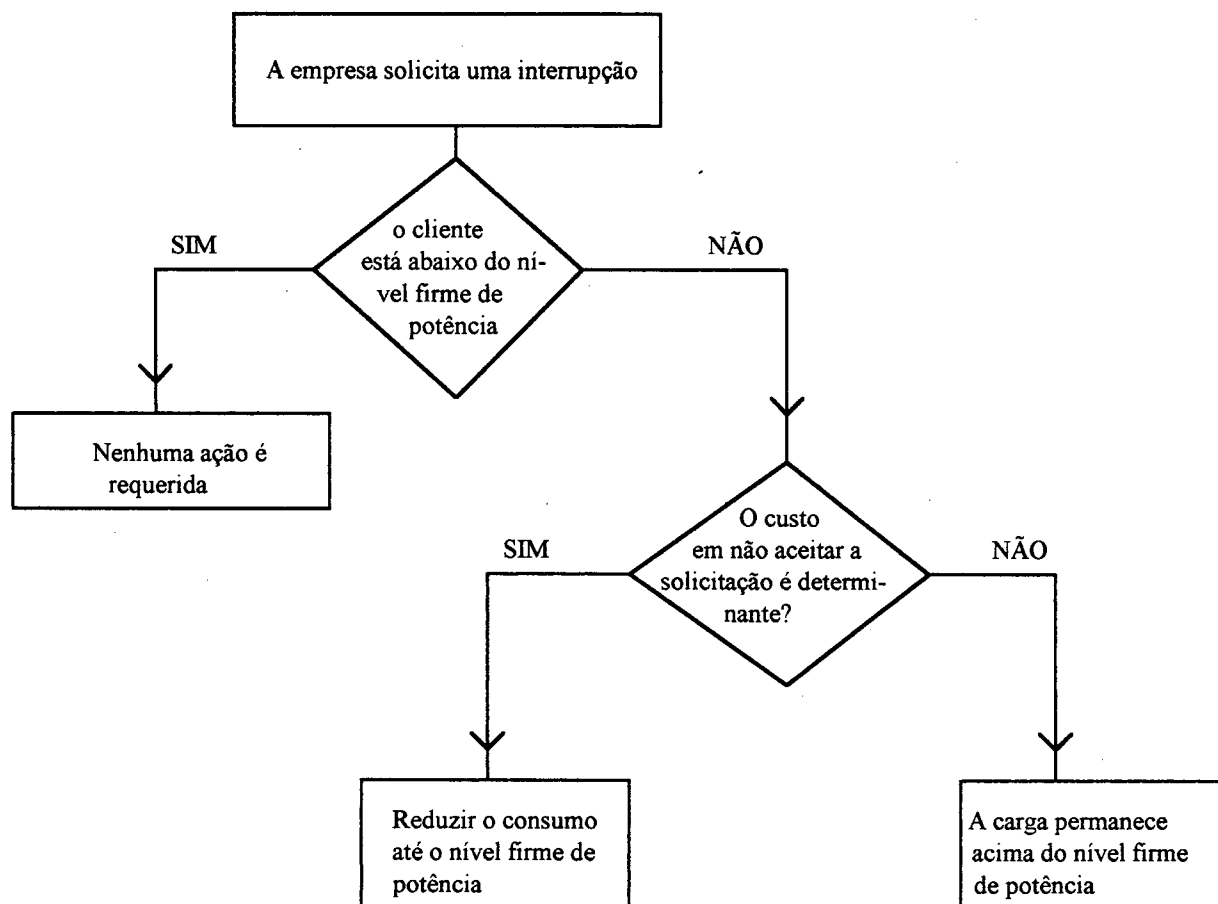


Fig. 4.2 Resposta do consumidor em relação a uma interrupção.

Normalmente os consumidores, por terem aversão ao risco, permanecem abaixo do nível firme de potência.

Por outro lado, em ocasiões em que fica difícil obedecer a este patamar, devido a natureza do consumo em blocos da energia elétrica, ou ainda, por compromissos assumidos de produção, frequentemente associados a multas contratuais em caso de atraso, o consumidor opta por assumir as penalidades impostas pela concessionária.

No que tange aos programas de controle direto da carga dos consumidores pela concessionária, principalmente mediante ciclos de liga/desliga aparelhos de ar condicionado e aquecedores de água, a aceitação pelos consumidores tem sido boa, com 80 a 90% dos participantes não apontando nenhuma inconveniência significativa. Cabe mencionar que um grupo de voluntários para um programa de controle de aparelhos de ar condicionado, proposto pela

empresa DETROIT EDISON, nos Estados Unidos, se mostrou bastante satisfeito, com cada consumidor economizando aproximadamente US\$ 30 por ano (Davis, 1982).

#### 4.5 Resposta de consumidores a tarifas variáveis no tempo

A resposta de consumidores a tarifas variáveis no tempo tem sido analisada intensivamente pelos pesquisadores, principalmente o segmento dos consumidores residenciais. O interesse na aplicação destas tarifas data do final dos anos 70, levando a uma série de experimentos efetuados nos Estados Unidos da América e apoiados pelo Departamento de Energia daquele país.

Alguns estudos contemplaram a aplicação obrigatória de tarifas variáveis no tempo e outros focalizaram a participação voluntária dos consumidores nos programas ofertados. Este foi o caso do experimento levado a cabo pela concessionária americana Pacific Gas and Electric Company (PG&E), em 1984. Tratou-se de um programa com dois anos de duração e envolvendo cerca de 5000 consumidores designados para vários grupos tarifários ou grupos de controle (Keane e Goett, 1988). A população alvo para o experimento consistia de consumidores residenciais cujo consumo médio mensal excedesse 800 kWh durante os doze meses anteriores.

O objetivo deste experimento consistia em obter dados de modo a poder avaliar os fatores que afetavam a decisão de participar do experimento, a capacidade de resposta em relação ao preço dos que participavam e a efetividade dos esforços de educação dos consumidores, empreendidos pela PG&E, no sentido de melhorar a compreensão destes em relação ao programa ofertado.

A análise dos resultados indicou que as residências com poucas pessoas, pequeno número de crianças, com o chefe da casa sendo mais velho e com mais educação e ainda com área construída mais ampla, são mais propensas a aderir voluntariamente. As donas de casa identificaram as atividades de cozinhar, lavar roupa, lavar pratos e secar como as que poderiam ser mais fácil de alteração quanto ao uso da energia.

Em relação ao grupo de não voluntários, que continuavam sujeitos a tarifação padrão da PG&E, as residências que aderiram ao plano consumiram praticamente a mesma demanda de ponta.

No tocante ao uso da energia elétrica no período fora da ponta, no entanto, o consumo dos voluntários foi substancialmente maior. As donas de casa, ainda, manifestaram uma grande aversão em realizar serviços dentro da tarifa variável com um período de ponta que se estendesse após as 18 horas. Elas mostraram uma boa vontade em postergar atividades que envolvessem o uso da energia elétrica mas fixaram o limite como sendo a hora do jantar.

A pesquisa também mostrou que os esforços de educação do consumidor empreendidos pela PG&E foram recompensados. Os clientes conheciam os horários de ponta e como estes variavam com as estações ao longo do ano. Também mostraram conhecimento de como

as suas contas seriam calculadas e manifestaram interesse em aprender a ler os novos medidores de energia elétrica. A maioria dos consumidores se mostrou satisfeita com a possibilidade que a tarifação variável oferecia de poder controlar o consumo e ainda limitar o crescimento da conta de luz sem suportar níveis reduzidos de suprimento e/ou declínio na qualidade de vida.

Uma outra pesquisa, bastante interessante, foi também realizada com consumidores residenciais da PG&E, buscando identificar atitudes que estariam associadas a adesão às novas tarifas variáveis no tempo propostas pela empresa. Neste trabalho (Train et al., 1987), mediante emprego da análise fatorial, foi possível identificar dois tipos de consumidores:

- a) Aqueles que se preocupam em conservar energia, achando que algo deve ser feito e
- b) Aqueles que se preocupam em conservar energia e se engajam nesta atividade.

A pesquisa mostrou que aqueles que sentem que as suas ações individuais são efetivas e significantes para a conservação, são os mais propensos a aderirem às novas tarifas. Aparentemente a preocupação com uma possível crise energética, por si só, não é suficiente para o consumidor aderir ao novo plano oferecido pela concessionária.

Um outro programa que merece ser mencionado foi o ofertado pela empresa Arizona Power Service (APS), também nos Estados Unidos. Neste caso o incentivo financeiro oferecido aos participantes (voluntários) estava embutido na fórmula de computar as contas de luz mensais dos consumidores (Hill et al. 1982):

$$BEX P_J = 0,85 B_J^{75} - \sum_{i=1}^3 P_i (kW h_{ij}^{75} - kW h_{ij}^{76}) \quad (4.3)$$

onde:

$BEX P_J$  é o valor a ser pago dentro da tarifação variável no tempo no j-ésimo mês.

$B_J$  é a conta atual para o j-ésimo mês do ano base (1975).

$P_i$  é o preço experimental para o i-ésimo período de consumo (pico = 1,

base = 2, fora do pico = 3).

$kWh_{ij}$  é o consumo de energia para o i-ésimo período do j-ésimo mês de 1976.

Por esta fórmula, caso o consumidor não alterasse o seu nível de consumo, via tarifação variável em 1976, a conta seria apenas 85% da conta de 1975. O desenho desta tarifa garantia aos participantes que caso a conta sob a nova modalidade fosse superior a conta sob a tarifação padrão, somente esta última seria paga.

Caso a empresa não oferecesse nenhum incentivo financeiro a conta seria cobrada pela expressão

$$BTOD_j = \sum_{i=1}^3 P_i (kWh_{ij}^{76}) \quad (4.4)$$

com  $BTOD_j$  a conta sob a nova tarifa.

Subtraindo (4.4) de (4.3) teremos o incentivo de participação

$$\text{Incentivo} = \sum_{i=1}^3 P_i kW h_{ij}^{75} - 0,85 B_j^{75} \quad (4.5)$$

A resposta dos consumidores neste experimento durante o segundo verão foi superior àquela apresentada no verão anterior, indicando que os consumidores residenciais aprenderam a lidar com a tarifação variada, usando mais a energia elétrica fora do período de ponta.

Um outro programa, ofertado pela Potomac Electric Power Company, PEPCO, nos EUA, era de natureza mandatória, com tarifação variando na base de 2,5 (ponta) para 1 (fora da ponta) e o período da ponta era fixado do meio dia até as 8 horas da noite. Um outro grupo de consumidores tinha uma relação de preços na base de 1,5:1 mas com um encargo de demanda de ponta igual a US\$ 3,67.

A concessionária observou que durante os meses de verão não existia basicamente diferença, em relação a resposta apresentada frente a tarifação variada, entre estes dois grupos. Ambos apresentavam uma redução de 3% na demanda de ponta e de um crescimento de 1,5% na demanda fora de ponta.

A tabela 4.1, extraída do EPRI Report 2343-4, "Customer Response to Rate Options", 1991, mostra os resultados deste experimento e também de outros realizados pela Pacific Gas and Electric Company.

Como mostrado nesta tabela a resposta apresentada pelos consumidores voluntários se mostra superior aquela exibida pelo programa de natureza mandatória. Isto tem sido atribuído a maior flexibilidade apresentada pelos voluntários, no que tange ao padrão de uso da energia elétrica, em relação ao consumidor médio.

Também poderá haver correlação com o segmento alvo do programa ofertado. Consumidores de maior porte tipicamente possuem mais aparelhos elétricos do que os pequenos usuários e, certamente, o montante do deslocamento de carga associado a tarifação diferenciada, guarda relação com o número de aparelhos elétricos da residência.

Tabela 4.1 - Experimentos de tarifas variável no tempo para consumidores residenciais (EPRI REPORT 2343-4, 1991)

Tarifa variável no tempo consumidor residencial	Descrição	Variação percentual do consumo em kWh no verão		
		Ponta	Meia ponta	Fora da ponta
1. PEPCO (1987)	Tarifa mandatória, relação de 2,5:1	-3,0	-2,6	1,5
	Período de ponta das 12 até às 20 horas			
	Tarifa mandatória, relação de 1,5:1 com encargo de demanda na ponta de US\$ 3,67.	-3,0	-2,6	1,5
	Período de ponta da 12 até às 20 horas			

2. PG&E (1984)	Tarifação voluntária para consumidores acima de 12.000 kWh anuais; relação de 2:1, período de ponta das 12 até às 18 horas	-19,1		18,4
3. PG&E (1987)	Tarifação voluntária para consumidores acima de 800 kWh mensais, envolvendo 8 (oito) alternativas de tarifas, com diversas relações ponta/fora da ponta, encargos de demanda e de energia e vários períodos de duração da ponta	-8,0		5,0

No caso específico dos consumidores industriais e comerciais a experiência de utilização das tarifas variáveis no tempo também tem sido ampla. Com base nos dados de 10 (dez) concessionárias norte-americanas, Park e Acton, em 1984, realizaram um estudo sobre a resposta de grandes consumidores destes segmentos em relação a tarifação variável no tempo. Neste trabalho ficou demonstrado que:

- Existe uma pequena, porém significativa, redução na fração de eletricidade que os grandes consumidores utilizam na ponta, quando se introduz a tarifação variável.
- A resposta média dos consumidores varia substancialmente de indústria para indústria.
- A magnitude da redução está significativamente relacionada aos diferenciais de preço no período de ponta.
- Os diferenciais de preço na energia (kWh) e na demanda de ponta (kW) parecem ser igualmente efetivos em reduzir a demanda de pico.
- Outros fatores, incluindo a duração do período de ponta, o tamanho da carga e o clima, influem decisivamente na resposta do cliente a tarifação diferenciada.
- Ganhos substanciais em nível de nação serão auferidos caso se aplique a tarifação variável a todos os consumidores industriais e comerciais cujo consumo médio horário seja superior a 200 kWh.

Em um outro estudo (Veall, 1986) verificou-se a aplicação da tarifação variável no tempo a 07 (sete) indústrias de cimento na Califórnia, EUA. Os dados usados neste trabalho consistiam nas observações, a cada intervalo de 15 minutos, do consumo destas indústrias entre 1976 e 1979, sendo 21 meses pela tarifa anterior e 27 meses pela nova tarifa.

À guisa de ilustração, as figuras 4.3 e 4.4 mostram os encargos de energia e demanda antes e depois da implantação da tarifa variável no tempo, para um dia de semana no inverno.

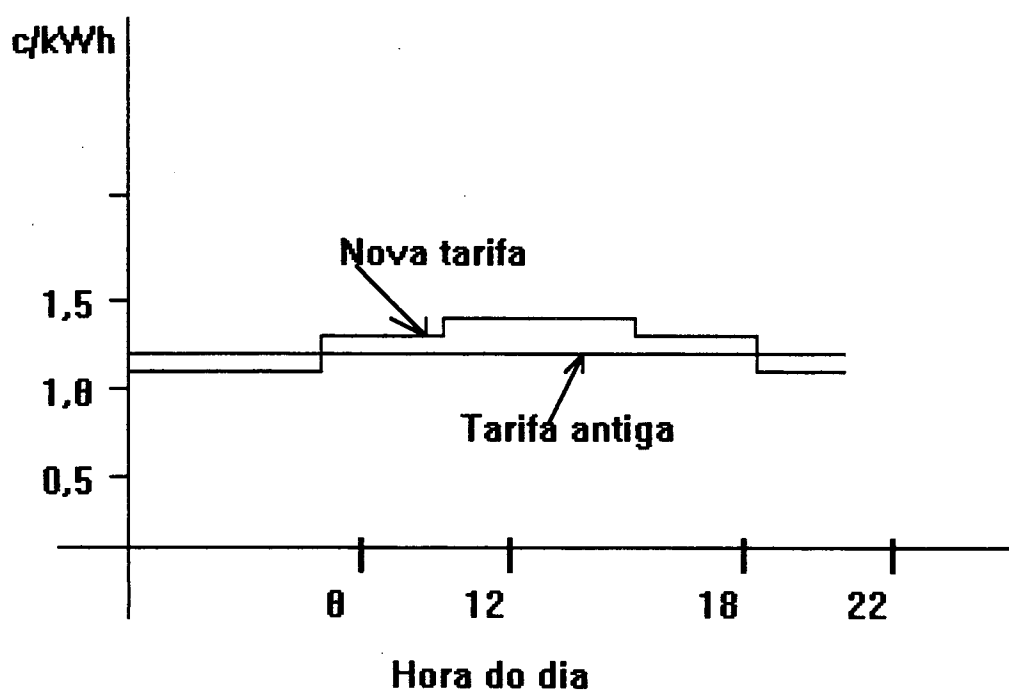


Fig. 4.3 - Encargos de energia.

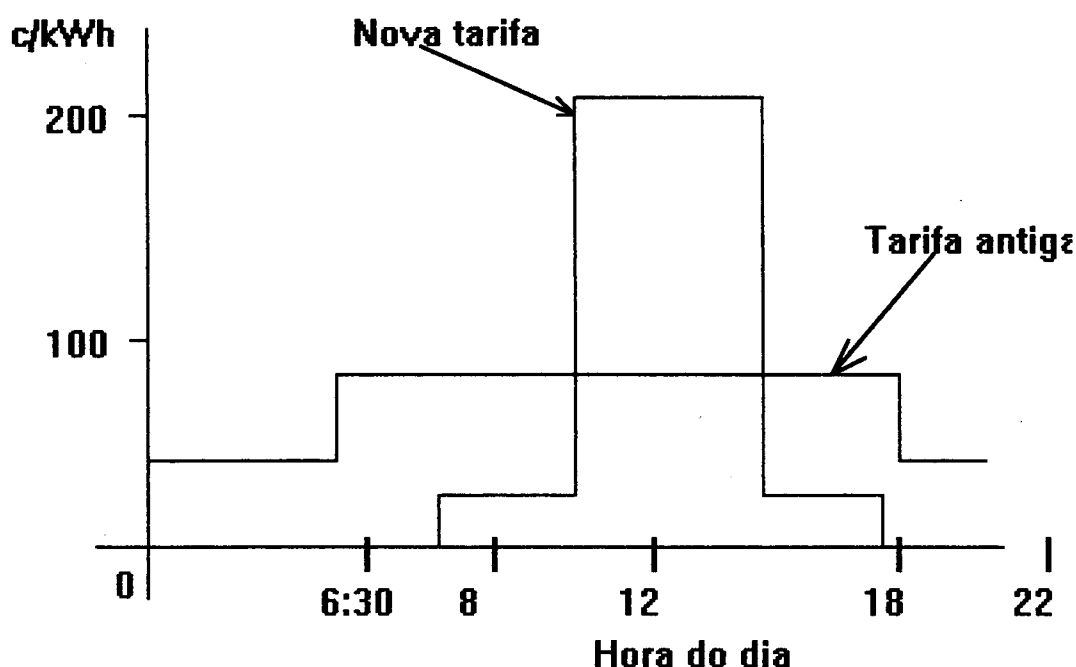


Fig. 4.4 - Encargos de demanda.

O estudo mostrou redução na demanda de ponta, sendo esta mais pronunciada no inverno. Para as indústrias observadas aparecem diferenças nas respostas no verão e no inverno, indicando a necessidade de uma análise sazonal dos resultados.

Quanto ao comportamento de consumidores frente a tarifação em tempo real, pouca experiência existe, com os programas-piloto ainda não completados.

A tabela 4.2 (EPRI Report 2343-4, 1991) mostra os resultados de 04 (quatro) experimentos, envolvendo as concessionárias de energia elétrica norte-americanas Southern California Edison (SCE), Orange and Rockland Utilities (ORU) em New York, Niagara Mohawk Power Corporation e Pacific Gas & Electric (PG&E).

Os resultados sugerem, de forma preliminar, que as respostas dos consumidores podem não ser muito grande na fase inicial deste tipo de programa. No primeiro ano somente dois consumidores da SCE, entre oito, significativamente alteraram seu nível de carga em resposta a notificação de tarifa, para o próximo dia, feita às 17 horas do dia anterior.

No experimento realizado pela Niagara Mohawk Power Corporation, foi oferecido um programa de preços em tempo real para 16 grandes consumidores. A concessionária contata os participantes às 16 horas, com as tarifas horárias para o próximo dia. As taxas variaram de mais ou menos 2 c/ até 42 c/ por kWh.



Durante os 25 dias do ano, quando as taxas estavam no seu ponto mais baixo, os consumidores incrementaram o consumo em aproximadamente 11,7%. Nos 25 dias de tarifas mais caras o consumo decresceu em 4,5%.

No programa da PG&E, as entrevistas com os participantes revelaram que a sua capacidade de responder a tarifação em tempo real mudava radicalmente de dia para dia, dependendo das restrições de produção, condições climáticas e a possibilidade de no próximo dia operar o gerenciamento de carga mediante sinal de preço.

Tabela 4.2 - Respostas de consumidores à tarifação em tempo real (EPRI REPORT 2343-4, 1991)

ESTUDO	AMOSTRA	REDUÇÃO DE CARGA POR CONSUMIDOR
1. SCE (1988)	08 consumidores comerciais/ industriais	0-400 kW
2. ORU (1988)	Consumidores residenciais	0,333 kW (não ajustado)  0,170 kW (ajustado)
	Consumidores residenciais (Programa PAR)	0,5 kW
3. Niagara Mohawk	16 grandes consumidores industriais	-4,5% do kWh diário por consumidor nos dias de tarifas mais caras e +11,7% nos dias mais baratos.
4. PG&E (1988)	15 consumidores industriais/ comerciais	28 kW a 412 kW por consumidor.

Um outro trabalho bastante interessante foi realizado por Sutherland, em 1994. Nesta pesquisa, empregando dados de um levantamento sobre consumo de energia residencial efetuado em 1990 pela Administração de Informações sobre Energia, nos EUA, o autor conclui que os abatimentos fornecidos pelas concessionárias, auditorias de energia, programas de gerenciamento de cargas e outras medidas de conservação, tendem a ser adotados em maior frequência pelas residências com um maior nível de renda. Neste sentido, as residências com maior estoque de equipamentos e com níveis de consumo mais altos tenderiam a apoiar, mais intensamente, os programas de conservação de energia.

Também nesta mesma linha, o artigo de Tienda e Aborampah (1981), mostra que só as residências com maior poder aquisitivo conseguem implementar, no curto prazo, as reformas sugeridas pelas concessionárias no intuito de tornar a casa mais apta a conservar energia. As famílias de menor renda não conseguem investir na reforma da residência, mesmo quando existem incentivos por parte da concessionária, visto que os pagamentos dos incentivos não compensam integralmente as reduções.

Dorothy Leonard-Barton (1981), em um trabalho sobre conservação de energia e sua associação a um estilo de vida voluntariamente mais simples, observa que pessoas de posse que adotam, por vontade própria, um estilo de vida mais frugal, tendem a conservar energia e manifestar interesse em pelo menos uma tecnologia de energia alternativa. O trabalho também mostra *que este tipo de comportamento está significativamente relacionado com o nível de escolaridade da pessoa*, sendo o nível de significância estatística  $p < 0,001$  ou 0,1%.

Em termos de Brasil, além das atividades do PROCEL, do horário de verão e dos programas da CEMIG e CPFL, já mencionados no capítulo anterior, merece ser citada a pesquisa realizada pelo CODI - Comitê de Distribuição de Energia Elétrica (Relatório CODI 1.2.11.05-0, 1992).

Neste trabalho, buscou-se aferir junto aos consumidores brasileiros, a qualidade do produto e dos serviços prestados pelas concessionárias de distribuição no Brasil. Os consumidores foram segmentados nas seguintes classes, as quais foram apresentados questionários apropriados:

- Classe residencial
- Classes industrial e comercial e serviços atendidos em baixa tensão
- Classes industrial e comercial e serviços atendidos em alta tensão
- Classe rural
- Consumidor atendido em agência

- Consumidor atendido via telefone de emergência (196)
- Consumidor atendido via telefone comercial(120) ou da agência
- Consumidor que solicitou aprovação de projeto
- Consumidor que solicitou pedido de nova ligação.

Embora o objetivo da pesquisa não fosse especificamente de gerenciamento pelo lado da demanda, algumas questões colocadas nos questionários já poderiam fornecer, pelo menos de modo preliminar, uma idéia do comportamento do consumidor frente a possíveis programas de GLD no futuro.

Restringindo-nos a classe dos consumidores residenciais, que é a de nosso interesse maior, as seguintes questões podem ser realizadas:

a) Questão nº 09 - Sendo necessária a interrupção do fornecimento de energia elétrica, o(a) Sr.(a) prefere que ela ocorra em que dia (e período deste dia) da semana, ou isto é indiferente para o(a) Sr.(a)?

b) Questão nº 10 - O(a) Sr.(a) toma conhecimento antecipado dos desligamentos programados pela empresa concessionária do seu estado?

1. Não          2. Sim          3. De vez em quando

c) Questão nº 40 - Nesta residência são adotadas medidas para economizar energia elétrica?

1. Sim          2. Não          3. Não sabe

d) Questão nº 41 - Se sim (em relação a pergunta anterior) quais as principais medidas adotadas? (até duas)

1. Desliga as lâmpadas acesas sem necessidade.
2. Acumula roupa para passar.
3. Desliga a TV quando ninguém está assistindo.
4. Diminui o tempo de banho.

- 
5. Usa o chuveiro com a chave na posição verão.
  6. Abre menos vezes a geladeira.
  7. Não guarda alimentos quentes na geladeira.
  8. Substitui a borracha de vedação da geladeira quando estragada.
  9. Usa a máquina de lavar roupa com a capacidade máxima.
  10. Verifica as condições de funcionamento dos aparelhos.
  11. Desliga o ar condicionado quando se ausenta do ambiente por longos períodos.
  12. Outras.

Também teriam interesse para planejar programas de GLD as questões nº 59 (aparelhos elétricos que o consumidor possui), questão nº 60 (renda mensal familiar), questão nº 61 (grau de instrução do chefe da família) e a questão nº 62 (faixa etária do dono da casa).

A CELESC, Centrais Elétricas de Santa Catarina, aplicou os questionários entre 15 de agosto e 15 de setembro de 1992, em 44 municípios de sua área de concessão, sorteados segundo metodologia desenvolvida por especialistas do CODI, considerando aspectos climáticos e tipo de colonização. Nas questões apontadas as respostas dos consumidores residenciais foram as seguintes:

**a) Questão nº 9 - Sendo necessária a interrupção do fornecimento de energia elétrica, quando é preferível que ocorra?**

Dia da semana:

- Entre segunda e sexta-feira	36%
- No domingo	33%
- Indiferente	19%

---

- No sábado	12%
-------------	-----

Período do dia:

- Pela manhã	39%
--------------	-----

- Indiferente	35%
---------------	-----

- À tarde	26%
-----------	-----

**b) Questão nº 10 - Sobre se os consumidores tomam conhecimento antecipado dos desligamentos de energia elétrica programados pela CELESC:**

- Sim	49%
-------	-----

- Não	29%
-------	-----

- Às vezes	22%
------------	-----

**c) Questão nº 40 - Na residência adotam-se medidas para economizar energia ?**

- Sim	86%
-------	-----

- Não	14%
-------	-----

- Não sabem	0%
-------------	----

**d) Questão nº 41 - Caso afirmativo, quais medidas são adotadas ?**

- Desliga as lâmpadas acesas sem necessidade	46%
--	-----

- Diminui o tempo de banho	16%
----------------------------	-----

- Desliga a TV quando ninguém está assistindo	15%
---	-----

- Acumula roupa para passar	11%
-----------------------------	-----

---

- Abre menos vezes a geladeira	5%
- Outras	4%
- Verifica as condições de funcionamento dos aparelhos	1%
- Usa o chuveiro com a chave na posição verão	1%
- Usa a máquina de lavar roupa com a capacidade máxima	1%
- Desliga o ar condicionado quando se ausente por longos períodos	0%
- Não guarda alimentos quentes na geladeira	0%
- Substitui a borracha de vedação da geladeira, quando estragada	0%

Cabe ainda mencionar, que dos assuntos referentes ao serviço público de energia elétrica, o preço da energia elétrica, com 29% das respostas, e a possibilidade de falta de energia, com 19%, são os pontos que mais preocupam os consumidores.

Pode-se pois verificar, das respostas anteriores, que os consumidores residenciais estão atentos aos avisos sobre interrupções no fornecimento de energia elétrica, procurando adotar medidas para economizar esta energia. Observa-se, também, que os consumidores nem sempre possuem conhecimentos adequados para adotar medidas mais eficientes de conservação. Isto abre campo para as empresas concessionárias realizarem campanhas de esclarecimentos, quanto ao uso correto da energia elétrica, junto aos consumidores residenciais..

#### 4.6 Resumo

Neste capítulo procurou-se identificar as reações dos consumidores a diversos tipos de programas de GLD. Esta tarefa não é fácil, face ao caráter multidisciplinar da questão, envolvendo aspectos econômicos, psicológicos, sociológicos, estilo de vida, grau de conscientização ambiental e outros.

Os aspectos ligados à educação do consumidor parecem contribuir para o êxito do programa de GLD, principalmente se este vier acompanhado de incentivos financeiros; a elevação dos preços das tarifas de energia elétrica é um meio efetivo de inibir a demanda, mas

---

e elevar a sensibilidade frente aos preços, notadamente fazer o consumidor saber quanto custa produzir um kWh de energia, também é uma boa estratégia.

A reação dos consumidores frente a interrupção/cortes no fornecimento de energia elétrica varia em função do grau de dependência destes em relação ao suprimento ou ainda em que medida a produção, ou outra atividade afetada pela falta de energia, poderá ser recuperada após o restabelecimento do serviço.

A resposta dos consumidores à tarifas variáveis no tempo tem sido o campo mais analisado pelos pesquisadores, tanto contemplando a aplicação obrigatória quanto voluntária destas tarifas. Em geral os consumidores tem aceitado bem este novo padrão tarifário, deslocando atividades para fora do horário da ponta, desde que o período desta não ultrapasse a hora do jantar.

Residências com poucas pessoas, pequeno número de crianças, com o chefe da casa sendo mais velho e com maior nível de escolaridade, tendem a aderir com maior frequência aos programas de GLD. Também as residências com nível de renda mais alto e nível de consumo maior, tendem a colaborar, com mais intensidade, nos programas de conservação de energia.

No Brasil, praticamente não existe pesquisa relacionada à resposta de consumidores frente a programas de GLD. Algumas questões do relatório CODI, sobre qualidade do produto e dos serviços prestados pelas concessionárias, podem dar uma idéia, ainda que preliminar, de itens ligados à interrupção no fornecimento e atividades de conservação empreendidas pelos consumidores.

## **CAPÍTULO V**

### **PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DA PESQUISA**

#### **5.1 Metodologias para identificação do potencial de conservação**

A identificação do potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores, para fins de implantação futura de um programa de GLD, não é tarefa fácil. A concessionária busca a otimização dos resultados a serem obtidos, procurando moldar a curva de carga de acordo com as suas necessidades. Existem três abordagens possíveis ao problema:

a) Pela transferência dos resultados obtidos em programas similares implantados em outras concessionárias ou mesmo em outras áreas de uma mesma empresa. Trata-se assim, de aproveitar a experiência adquirida em programas de conservação já efetuados por outras empresas de energia elétrica.

Em geral, a escolha que o consumidor residencial faz entre a sua tarifa padrão e uma opção TOU ( Tarifas variáveis no tempo ) irá depender de três fatores:

1. O diferencial de custos entre a tarifa padrão e a TOU.
2. A capacidade e o desejo de alterar o padrão de consumo em resposta a uma alteração nos preços marginais da energia elétrica.
3. Fatores atitudinais que afetam o desejo de mudar, independente do preço e das condições de uso da energia.



b) Pela implantação de um projeto piloto, onde o potencial de conservação será aferido diretamente a partir de medições efetuadas sobre a curva de carga do sistema.

c) Pela identificação, através de pesquisa de mercado, do potencial de conservação, ou seja, dos segmentos de consumidores mais adequados para garantir o sucesso do programa de GLD, em função de variáveis já explicitadas em levantamentos feitos por outras empresas, principalmente no exterior, e relatadas nos capítulos III e IV.

## 5.2 Análise crítica das metodologias

Entendemos que o item **b** envolve custos e riscos e, como tal, deveria ser precedido por estudos e análises envolvendo as outras duas alternativas. Os custos compreenderiam os investimentos feitos para a compra e a instalação de medidores especiais, empregando tecnologia mais sofisticada, a base de microprocessadores, com as respectivas cablagens e proteções e envolvendo gastos acentuados de aquisição, instalação e treinamento de pessoal. Os riscos correriam por conta das incertezas quanto ao sucesso do programa de GLD ofertado, visto não se ter previsto o comportamento do mercado, principalmente se o programa for de adesão voluntária. Ressalte-se, ainda, o tempo necessário para que um projeto piloto possa apresentar resultados confiáveis.

Neste sentido, pode-se considerar o projeto piloto como uma segunda etapa da implantação de um programa de GLD e assim o potencial de conservação deverá ser identificado pelas alternativas **a** e/ou **c**, visto não serem, necessariamente, mutuamente exclusivas.

A transferência de dados de uma empresa para outra é um procedimento que merece alguns comentários e também reflexões. A demanda residencial de energia elétrica depende de três tipos de variáveis: variáveis que são ligadas ao clima, variáveis que são específicas a cada residência (equipamentos elétricos, tamanho da família, etc) e variáveis monetárias como preços e nível de renda. Como estas variáveis estão, via de regra, concorrendo para um maior ou menor consumo de energia elétrica, pode-se imaginar um sistema de demanda híbrido, incorporando estes três tipos de variáveis em um único modelo de previsão, de modo a estimar as elasticidades (próprias e cruzadas) frente ao uso de tarifas referentes a um determinado programa de GLD.

De modo a aproveitar a experiência de outras empresas, as características da concessionária e/ou do programa de GLD a ser proposto deverão ser similares àquelas de onde virão as informações. Condições como a estrutura tarifária, base de consumidores e informações sobre a curva de carga não são, geralmente, fornecidas ao se apresentarem resultados oriundos de outras concessionárias, o que, certamente, coloca em risco a eficácia da transferência dos dados.

Além disto, em razão dos programas de GLD serem ainda instrumentos de estratégia em um mercado altamente competitivo, muitos dados experimentais são confidenciais e assim, não publicados.

Os modelos híbridos mencionados, usando técnicas estatísticas e econométricas, procuram analisar a resposta de consumidores a partir de informações cruzadas obtidas de programas já implantados em diversas concessionárias. A disponibilidade destes modelos econométricos é limitada. Não podem ser aplicados, por exemplo, a programas de GLD pouco usados ou mesmo personalizados para determinado segmento de consumidores, como é o caso do serviço com qualidade diferenciada visto nos capítulos III e IV.

Além disto, os modelos econométricos não são aplicados de modo eficiente a programas de GLD do tipo voluntário, onde a decisão de aderir ao programa envolve componentes atitudinais e deve ser estimada e examinada junto com a resposta explicitada na curva de carga, acarretando assim muito mais complexidade (EPRI REPORT RP2343-4, 1991).

Neste sentido, deve-se estar atento ao fato de que ajustar dados de um programa de GLD voluntário, a partir de resultados oriundos de outros programas de caráter mandatório, certamente irá adicionar um nível de incerteza nas previsões.

No caso específico do Brasil, onde não existe experiência quanto ao uso de programas de GLD no segmento residencial, parece-nos bastante errôneo o uso de dados advindos de programas aplicados em outros países sem a necessária cautela e as adaptações face as diferentes realidades. Tais dados estariam alicerçados em condições distintas da nossa, tanto no tocante ao clima como nas características demográficas, valores culturais, tipos de regulação, níveis de preços, de rendas, e etc.

Não entendemos portanto, como adequada, a metodologia de identificação do potencial de conservação mediante o simples expediente de transferência de dados, embora reconhecendo o valor da experiência alheia no nosso processo de aprendizagem, como mostrado no capítulo IV.

Resta-nos assim, advogar o emprego da metodologia de avaliação e identificação do potencial de mercado como a mais adequada para estudar a viabilidade de implantação de programas de GLD no segmento residencial em Santa Catarina. Antes de prosseguir com a nossa proposta, no entanto, seria oportuno um rápido apanhado sobre o consumo residencial de energia elétrica em S. Catarina, objetivando balizar os procedimentos da pesquisa a ser planejada e executada.

### **5.3 O consumo residencial de energia elétrica em S. Catarina**

O uso da energia elétrica tem crescido bastante no Estado de Santa Catarina, caracterizando o desenvolvimento da nossa sociedade e o bem estar da população.

O consumo de energia elétrica em Santa Catarina é responsável por 37,8% de toda a energia consumida no Estado, segundo o balanço energético efetuado pela Secretaria da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente (Balanço Energético, Série 1980/1991, v.2, n.2, julho 1991).

Segundo este levantamento, para o consumo residencial a energia elétrica representa 43,4% do consumo total de energia, rivalizando com a lenha, que atinge 43,1% do consumo final, cabendo aos derivados do petróleo (13,4%) e ao carvão vegetal (0,1%) os percentuais restantes.

Como se pode observar pela figura 5.1, o consumo residencial de lenha vem decrescendo paulatinamente nos últimos anos ao passo que o uso da energia elétrica vem crescendo de forma acentuada.

Observar que a lenha, em 1981, representava quase 70% do consumo final residencial contra 21% da energia elétrica. O uso dos derivados do petróleo e do carvão vegetal vem se mantendo constante, nos níveis apontados anteriormente.

É importante ainda mencionar que o consumo final de energia no Estado catarinense foi de 5709 tEP no ano de 1991, representando um crescimento de 3% ao ano se comparado ao consumo de 1980. Neste mesmo período o Produto Interno Bruto cresceu de 3,5% ao ano e a população 2,1% ao ano.

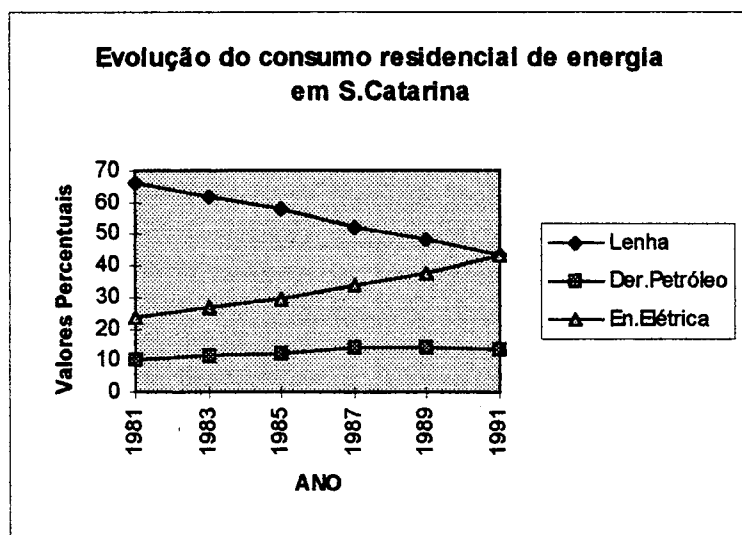


Fig. 5.1: Evolução da estrutura do consumo final de energia do setor residencial em Santa Catarina (Balanço Energético, série 1980-1991, julho de 1991)

Com as crescentes restrições legais e ambientais ao desmatamento, a migração acentuada para os grandes centros urbanos e a conseqüente procura por aparelhos eletrodomésticos, necessários ao bem-estar social e lazer das comunidades, a energia elétrica passa a ser responsável pela maior parte das necessidades energéticas das residências.

Este predomínio, pelo menos a curto e médio prazo e ainda face ao desenvolvimento tecnológico que se esboça para os próximos anos, não parece ser ameaçado por nenhum outro energético alternativo.

Em julho de 1995, segundo dados da área de mercado da CELESC, o número de consumidores residenciais em Santa Catarina atingiu a cifra de 1.050.228, com um consumo, calculado em valor médio, de 170 kWh/mês/consumidor. Cabe comentar que os consumidores residenciais representam cerca de 77% de todos os consumidores do Estado.

Os quatros maiores pólos de consumo residencial de energia elétrica no Estado por número de consumidores são Joinville, Blumenau, São José e Florianópolis. A tabela 5.1, a seguir, apresenta as principais características de consumo residencial de energia elétrica destas áreas (agosto de 1995).

Tabela 5.1 : Classes de consumo e número de consumidores residenciais, acima de 200 kWh mensais (Fonte: Celesc, área de mercado, 1995)

kWh/mês	Florianópolis	S. José	Blumenau	Joinville
201 a 500	35479	15596	26067	34574
> 500	5637	1073	2407	2458

Estas faixas de consumo são representativas visto compreenderem mais de 60% de todo o consumo residencial destas regiões e daí o interesse e potencialidade para programas de GLD. O consumo médio mensal para estas cidades é o seguinte (agosto de 95 - setor residencial):

- Florianópolis - 207 kWh
- São José - 199 kWh
- Blumenau - 211 kWh
- Joinville - 199 kWh.

Embora os consumidores que gastam menos do que 200 kWh por mês sejam maioria (cerca de 60% do total), entendemos que não possuem margem suficiente para uma adequada conservação de energia, visto estarem atendendo as suas necessidades básicas de sobrevivência e possuírem reduzido estoque de equipamentos. A escolha das cidades mencionadas, deve-se ainda ao fato de permitir avaliar a influência cultural sobre a conservação da energia. De um lado temos Florianópolis e S. José, tipicamente açorianas, e do outro Joinville e Blumenau, basicamente de tradição germânica.

## 5.4 Planejamento da Pesquisa

Atingindo a faixa de 1 milhão de consumidores e sendo responsável por quase 25% de toda energia elétrica consumida por Santa Catarina, o setor residencial torna-se candidato ao uso das técnicas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD). Adicionalmente, deve ser realçado o aspecto nível de consumo contra receita para situarmos a importância relativa do setor residencial. Para todo o Estado de S. Catarina em agosto de 1995, cada MWh consumido no setor industrial gerou uma receita líquida de R\$ 77,42 para a CELESC ao passo que no setor residencial esta relação foi de R\$ 94,63, ou seja, os consumidores residenciais estão pagando mais pela energia consumida, subsidiando outros segmentos de consumo. Atentando pois para a potencialidade de conservação de energia do setor residencial, para que seja viabilizado o uso do GLD em nosso Estado, entendemos que deverão ser dados os seguintes passos:

a) Estudar e identificar o potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores residenciais em Santa Catarina, visando definir a oferta futura de programas de GLD. Busca-se determinar o mercado que responderá mais eficientemente aos objetivos contidos no programa. Em geral este segmento estará mais propenso a aderir voluntariamente ao programa e colaborar para a obtenção dos resultados desejados.

b) Identificado o segmento de consumidores mais adequado, implantar um projeto piloto, compreendendo a instalação física de medidores especiais em residências previamente selecionadas, e criar as correspondentes condições tarifárias e de faturamento.

c) A partir da experiência adquirida na etapa anterior, principalmente a avaliação das elasticidades que expressam o relacionamento entre a demanda e o preço para diferentes opções tarifárias, a empresa poderá estender a opção de aderir ao programa de GLD a todos os outros consumidores. A proposta para a nossa pesquisa compreende a etapa a anterior, ou seja, *desenvolver uma metodologia para identificar o potencial de conservação dos consumidores residenciais de energia elétrica de Santa Catarina*, para fins de implantação futura de um programa de GLD.

A pesquisa será do tipo não-experimental, procurando interpretar a realidade sem manipular variáveis. Será desenvolvida obedecendo as seguintes etapas:

### 5.4.1 Seleção aleatória de consumidores

O processo de amostragem introduz variâncias que se originam das várias possibilidades de escolha entre os elementos da população que serão selecionados. Tais variâncias constituem o chamado erro amostral.

Mesmo se os erros amostrais pudessem ser eliminados, uma precisão perfeita, uma inferência exata em todos os aspectos provavelmente nunca seria possível devido a erros sistemáticos, não variáveis, que aparecem devido ao trabalho de coleta, processamento e análise das informações, o chamado erro não-amostral. Independente de ser ou não possível uma in-

ferência perfeita num levantamento de campo, tal precisão não é necessária para fins do processo de decisão.

Tudo que necessitamos são valores com um grau de precisão suficientemente alto para se ter um valor prático. Com efeito, os levantamentos de campo fornecem informações sobre os limites prováveis dentro dos quais o valor verdadeiro, porém desconhecido, de um dado parâmetro populacional estará. A especificação destes limites é um problema de natureza prática, dependendo do julgamento daqueles que irão usar os resultados.

Neste sentido, o problema da amostragem consiste em determinar qual o tamanho da amostra e que projeto amostral irá conduzir a resultados dentro destes limites, tão economicamente quanto possível (Tull e Albaum, 1973). Fica claro que a precisão de estudos que envolvam o uso de amostras será diretamente proporcional as facilidades e recursos que se disponha para a realização dos mesmos.

O cálculo do tamanho da amostra poderá ser feito pelo uso da expressão abaixo (Samara e Barros, 1994; Green e Tull, 1975), para universo superior a 10 mil consumidores.

$$\sigma / z = \sqrt{p(1 - p) / n} \quad (5.1)$$

Onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $p$  é a proporção de indivíduos na amostra em estudo favorável a um programa de GLD,  $\sigma$  é o desvio padrão amostral e  $z$  a variável associada, na curva normal, a um certo limite de confiança estabelecido de antemão. Como não temos dados a priori sobre a aceitação, ou não, da população em participar de programas de GLD é razoável supor a proporção de aceitação  $p = 50\%$ . Esta consideração nos leva, ainda, ao maior valor possível no tamanho da amostra para dados escolhidos para  $z$  e  $\sigma$ . Trabalhando com uma estimativa de 95 % de confiança ( $z = 1,96$ ) de que a proporção amostral estará dentro de mais ou menos 5 pontos percentuais do verdadeiro valor  $P$  da população, ou seja  $P = p \pm 5\%$ , teremos um valor para  $n$  de 384 consumidores.

Se tivéssemos optado por um erro amostral teórico de 6% ao invés de 5%, teríamos obtido cerca de 267 consumidores, resultado que concorda com o valor exposto no relatório CODI 1.2.11.05. "Metodologia para pesquisa de opinião sobre a qualidade do produto e dos serviços de energia elétrica", de janeiro de 1992 e para populações até 500 mil consumidores. Na publicação *Estatística aplicada às ciências sociais* (Barbetta, 1994), sugere-se calcular o tamanho da amostra, para grandes populações, pelo inverso do erro amostral ao quadrado, o que daria, no nosso caso,  $1 / 0.0036$ , ou seja, 278 consumidores. Vamos escolher, assim, uma amostra com o tamanho mínimo de 280 consumidores para a pesquisa.

No caso de obtermos um número de respondentes acima de 280, estaremos trabalhando com um erro inferior a 6%. Se quatrocentas pessoas responderem ao questionário, por exemplo, o erro seria de 4,9%, para um intervalo de confiança de 95%. Como já mencionamos, optamos por um valor de  $p$  igual a 50%. Se este valor fosse diferente, o tamanho da amostra iria diminuir. Para  $p$  igual a 70%, por exemplo, não alterando os outros parâmetros, o

tamanho da amostra seria de 323 consumidores. A tabela 5.2, a seguir, apresenta valores para o tamanho da amostra para diferentes valores de  $p$  e de  $\sigma$ .

Tabela 5.2 : Tamanho das amostra, para diferentes valores de  $p$  e de  $\sigma$

	$p=50\%$	$p=70\%$
erro de 5%	384	323
erro de 6%	267	224
erro de 7%	196	165

Com o objetivo de que a amostra selecionada contenha o mais fielmente possível as características de interesse da população em estudo, iremos optar pela seleção aleatória dos consumidores. Os métodos aleatórios de escolha impedem que nossas próprias influências ou outros fatores sistemáticos interfiram na seleção da amostra.

As amostras aleatórias são mais prováveis de incluir as características típicas da população caso estas sejam frequentes. Na pesquisa moderna sempre que possível deveremos extrair amostras aleatórias da população em análise e admitimos que são representativas desta população. Trabalhamos assim com um método que, por ser objetivo, é divorciado de nossas paixões, escolhas pessoais e outras variáveis (Kerlinger, 1986). Iremos utilizar na pesquisa a técnica de amostragem estratificada uniforme, detalhada no item 5.5.

#### 5.4.2 Coleta de dados via questionário enviado pelo correio

A realização de pesquisas por meio de questionários enviados pelo correio tem tido aceitação crescente, hoje em dia, face as dificuldades encontradas pelos métodos de entrevistas pessoais e ligações telefônicas. Entre estas dificuldades podem ser citadas o alto custo de projetos envolvendo entrevistas individuais, dificuldade de encontrar pessoas em casa, extensão geográfica da área a ser pesquisada, indisponibilidade de telefones por parte das pessoas selecionadas na amostra, existência de pessoas treinadas e aptas a conduzir entrevistas pessoais, questões de segurança e inibições e/ou recusas em responder certas perguntas na presença do entrevistador ou a estranhos pelo telefone. De modo a se ter uma abordagem objetiva e que tenha sucesso no trato destas questões, pelo menos três condições deverão ser observadas:

a) Os entrevistados e os entrevistadores deverão ter um entendimento comum da informação que é desejada.

b) O entrevistado deve ser capaz de fornecer a informação solicitada.

c) O entrevistado deve querer fornecer a informação solicitada.

O processo de enviar um questionário a determinadas pessoas, fazê-las completar o mesmo de uma forma correta (e honesta) e enviá-lo de volta pode ser visto como um caso especial de uma troca social. Este tipo de relacionamento é mais amplo do que a troca econômica, onde o dinheiro serve como uma medida precisa do valor das ações empreendidas por alguém.

Assume-se que as pessoas se engajam em qualquer atividade por causa das recompensas que esperam obter, seja de que tipo for, que todas as atividades implicarão em custos e as pessoas tentarão manter estes custos abaixo das recompensas que esperam obter.

Se o indivíduo perceber, por exemplo, que o trabalho de responder e devolver o questionário pode contribuir para melhorar as condições de vida na comunidade onde reside, certamente ele irá fazer a sua parte, preenchendo os dados solicitados. Deste modo, o comportamento manifestado será função da relação entre os custos percebidos de realizar determinada atividade e as recompensas que se espera serão recebidas, de alguma forma, mais tarde. Assim, existem três coisas que deverão ser feitas de modo a maximizar o retorno das respostas aos questionários enviados:

- Minimizar o custo associado à tarefa de responder ao questionário
- Maximizar a recompensa aos respondentes
- Estabelecer a confiança de que a recompensa será obtida.

Neste sentido, questões que possam tornar o questionário mais fácil de responder, tornar a tarefa mais rápida, eliminar aspectos de subordinação e evitar custos monetários diretos serão fundamentais.

Também deverão ser equacionados aspectos que enfatizem a importância da participação das pessoas e estabeleçam um elo de confiança entre o pesquisador e estas pessoas. Geralmente a confiança fica facilitada ao se ligar a pesquisa a algum órgão que possui legitimidade, como uma empresa de energia elétrica ou uma universidade. Tais procedimentos estão na essência do método do desenho total (**total design method**) e que será por nós empregado no preparo do questionário, a ser enviado pelo correio, aos consumidores que serão sorteados para comporem a amostra selecionada (Dillman, 1978).



Este método consiste de duas partes..A primeira procura identificar cada aspecto do processo de levantamento (**survey**) que possa afetar a qualidade ou quantidade das respostas, modelando estes aspectos de modo a que as melhores respostas possíveis sejam obtidas. Esta fase é guiada por uma visão teórica sobre porque as pessoas respondem a questionários, propiciando meios para decidir como cada aspecto, incluindo aqueles aparentemente sem importância, deverá ser enfocado.

A segunda parte organiza os esforços de modo a que as intenções do projeto sejam conseguidas de modo detalhado. Consiste num plano administrativo cuja finalidade é assegurar a implementação do levantamento de acordo com o especificado no projeto, incluindo uma carta de apresentação aos respondentes, que segue junto com o questionário, muito bem elaborada.

Em suma, tudo aquilo que possa afetar a quantidade e a qualidade da resposta deverá ser identificado e manipulado, na base da teoria da troca social, de modo a produzir o sucesso da coleta de dados e da pesquisa.

O método proposto estabelece que o questionário deverá ser elaborado com clareza e pré-testado, apresentar um máximo de questões fechadas e ser editado em forma de livreto (**booklet**).

As perguntas deverão ser colocadas no questionário levando em conta a ordem decedente de importância, estando as questões pertinentes a determinado tema, sempre que possível, juntas no texto. As perguntas mais agradáveis deverão preceder as mais desagradáveis, dentro de cada tema.

A questão inicial, que abre todo o questionário, deverá estar claramente relacionada ao tema da pesquisa, fácil de ser entendida (e respondida) e ser aplicável a todos. Para não trazer despesas aos respondentes, deverão ser empregados envelopes já selados, ou com porte pago, para retorno do questionário.

Na maioria das vezes uma segunda carta (ou um cartão) deverá ser enviada aos pesquisados, algumas semanas depois do envio do questionário, visando aumentar o número de respondentes e tornando a amostra mais significativa. Em algumas situações faz-se necessário o envio de uma terceira carta ou até mesmo de um novo questionário.

Trabalhos e pesquisas já realizados entre nós (Oliveira e Moraes,1994), atestam a eficácia da coleta de dados via questionário enviado pelo correio e também validam o emprego da metodologia proposta por Dillman, cujo êxito, é claro, depende dos recursos disponíveis.

#### **5.4.2.1 Organização do questionário**

O questionário deverá permitir a identificação e avaliação de diversos aspectos ligados a conservação de energia e propiciar a comparação com estudos já realizados em outros paí-

ses, notadamente nos Estados Unidos, e já comentados no capítulo IV. À guisa de ilustração apresentamos, a seguir, uma síntese dos fatos mencionados naquele capítulo e os resultados que julgamos pertinentes à pesquisa que estamos planejando.

a) A renda familiar, o nível de escolaridade e a idade do respondente influenciam na aceitação e adoção de programas de GLD.

b) O uso do sinal de preço é uma forma efetiva de diminuir a utilização da energia elétrica. A maioria dos consumidores residenciais prefere um padrão menor de qualidade em troca de uma tarifa mais baixa a ser paga em sua conta mensal. Por outro lado, existem segmentos de consumidores que só se preocupam com o seu conforto e padrão de vida, não importando o preço que tenham que pagar por isto.

c) Dentro da categoria dos consumidores preocupados com a conservação de energia, existe uma distinção clara entre consumidores que se preocupam com a problemática da conservação de energia e outros que não ficam só na preocupação, se engajando nesta atividade voluntariamente em ações de conservação de energia e de programas de GLD.

d) Os consumidores que defendem uma maior participação do governo em programas sociais, preocupados com a ecologia e com um perfil contrário à privatização, são mais propensos a aderirem, voluntariamente, aos programas de GLD.

e) Os abatimentos fornecidos pelas concessionárias, auditorias de energia, programas de gerenciamento de cargas e outras medidas de conservação, tendem a ser adotados em maior frequência pelas residências com um maior nível de renda. Neste sentido, as residências com maior estoque de equipamentos e com níveis de consumo mais altos tenderiam a apoiar mais intensamente os programas de conservação

f) Os consumidores residenciais de energia elétrica com nível de consumo mensal acima de 500 kWh terão maior disposição para aderir, voluntariamente, a programas de conservação de energia elétrica. Deverão ser o alvo prioritário de qualquer programa de GLD.

As perguntas do questionário serão dirigidas para captar a essência dos construtos que estarão associados aos itens anteriores e serão explicitados a seguir. Para associar tais perguntas às variáveis aleatórias que serão usadas na análise estatística do problema, emprega-se uma escala de Likert com a seguinte graduação :

( 1 ) Concordo integralmente

( 2 ) Concordo parcialmente

( 3 ) Não tenho opinião formada

( 4 ) Discordo parcialmente

( 5 ) Discordo totalmente

Os construtos a serem utilizados na pesquisa são definidos a seguir:

#### Construto Potencial de Conservação

Deverá estar subjacente aos consumidores que se comportam conforme já mencionado no item c, ou seja, aqueles que se preocupam com a conservação de energia, geralmente se engajando decididamente nesta atividade. Deverá ser avaliado por meio das questões a seguir:

Q-1: Não devemos nos preocupar com a possibilidade de faltar energia elétrica no futuro. Afinal a humanidade sempre irá achar uma solução.

Q-2: Embora hoje em dia não existam problemas no fornecimento de energia elétrica aos consumidores residenciais, no futuro isto poderá acontecer.

Q-3: Os consumidores residenciais não são aqueles que mais consomem energia elétrica. Assim, não importa muito se economizam, ou não, energia.

Q-4: Se todos os consumidores residenciais conservarem energia, haverá uma grande diferença no consumo global de energia no Brasil.

Q-5: Ao invés de só pensarem em construir novas usinas geradoras, as empresas de energia elétrica deveriam também buscar meios de manter o consumo em níveis mais baixos sempre que for preciso.

#### Construto Perfil Estatizante

Compreende consumidores que defendem uma maior participação do governo em programas sociais, manifestam preocupação com a destruição da natureza e acham que o setor elétrico deve ser explorado pelo Estado. Combatem a privatização, o uso do lucro como único parâmetro para medir a eficiência das empresas, defendem a conservação e entendem que a energia elétrica deve ser acessível a todos, inclusive para pessoas que não podem pagar por ela:

Q-6: A construção de novas usinas geradoras de energia elétrica deveria ser limitada, pois causam danos acentuados ao meio ambiente.

Q-7: A construção de novas usinas geradoras de energia elétrica deveria ficar a cargo da iniciativa privada.

Q-8: O governo precisa construir obras em outros setores, como escolas, hospitais e estradas. Devemos economizar energia elétrica para diminuir o número de usinas geradoras que seriam necessárias, e assim, aumentar os recursos para os demais investimentos.

Q-9: As empresas de energia elétrica não devem ter uma visão puramente empresarial, só fazendo aquelas obras que proporcionem os maiores índices possíveis de lucratividade.

Q-10: A energia elétrica é um fator de bem estar social. Neste sentido, cabe ao governo subsidiar aqueles consumidores que não podem pagar por ela.

Q-11: Quanto menor a interferência do governo nas empresas de energia elétrica, maior a probabilidade destas terem bom funcionamento.

#### Construto Efetividade do Sinal de Preço

Procura identificar indivíduos que se preocupam em poupar recursos de um modo geral. Aceitam um padrão menor no fornecimento da energia elétrica desde que possam pagar uma conta mais baixa. Entendem que mesmo aqueles que possuem alto poder aquisitivo devem se engajar na conservação de energia.

Q-12: Os consumidores de energia elétrica tem o direito de usar energia na hora que quiserem e na quantidade que desejarem, desde que possam pagar por isto.

Q-13: Manter o nosso padrão de vida e o conforto que a energia permite e proporciona, é muito mais importante do que a preocupação com os recursos gastos para gerar esta energia.

Q-14: Não vale a pena reduzir o padrão de fornecimento de energia elétrica a nossa residência em troca de pagar uma conta mais baixa no fim do mês.

Q-15: Existem determinadas horas do dia em que a produção de energia elétrica é mais cara, geralmente entre as 18 e 20 h. Aqueles consumidores que consumirem energia neste período devem pagar mais do que nos outros horários.

#### 5.4.3 Recebimento e Análise dos Dados

As respostas dos consumidores, englobados em categorias tipo favorável ou desfavorável, com gradações apropriadas, permite o uso da escala de Likert.

Os escores são assinalados de tal modo que a direção de atitude (favorável para desfavorável) é consistente para todos os itens. Por exemplo, se 1 é assinalado para **concordo integralmente** em questões favoráveis ao construto em questão, o mesmo valor deverá ser entendido para **discordo integralmente** em questões desfavoráveis. O objetivo do uso de questões favoráveis e desfavoráveis, balanceadas ao longo do questionário, é o de minimizar o erro de tendência, o erro sistemático.

A mensuração de opiniões a respeito de determinados valores ou crenças pode levar a atitudes correspondentes a tais valores ou crenças. Neste sentido, questões apropriadas irão operacionalizar atitudes (A) dando origem a um comportamento (C), segundo a relação a seguir, onde C é uma variável dependente e A uma variável independente:

$$C = f(A) \quad (5.2)$$

A variável atitude (Cunha, 1985) é conceituada em Psicologia Social como a estrutura organizada e duradoura que dá sentido ao comportamento, englobando crença, percepção, motivação, sentimento, cognição e opinião.

Na análise dos dados recebidos serão empregadas técnicas de análise estatística multivariada, procurando extrair informações de modo a testar as hipóteses em estudo incluindo o peso de cada variável nas relações funcionais.

Dentre as técnicas de análise multivariada a **análise fatorial** parece ser a mais indicada para tal tipo de estudo (Kerlinger, 1986; Rummel, 1970). A análise fatorial é uma técnica especialmente desenvolvida para analisar variáveis que não podem ser observadas diretamente, as chamadas variáveis latentes. Através de variáveis manifestas, a análise fatorial permite que se façam inferências acerca das variáveis latentes. Os aspectos fundamentais da análise fatorial, bem como o embasamento matemático deste método, estão descritos no apêndice II.

#### 5.4.4 Hipóteses a serem testadas

Baseando-nos em estudos realizados no exterior (capítulo IV) e atendendo as particularidades de nosso Estado e do Brasil, definimos as seguintes hipóteses a serem testadas:

1. O grau de escolaridade influencia, de modo significativo, no potencial de conservação de energia. Os consumidores com maior grau de escolaridade tendem a ter maior potencial de conservação.

2. O nível de renda familiar influencia, de modo significativo, no potencial de conservação de energia. Os consumidores com renda superior tendem a ter maior potencial de conservação.

3. As residências com nível de consumo superior a 500 kWh mensais têm maior tendência a apoiar medidas de conservação e colaborar mais intensamente em programas de GLD.

4. Os consumidores da região 1, Florianópolis-S. José, por terem perfil mais estatizante, estão mais preocupados com a presença do Estado no setor elétrico e as questões sociais e ecológicas advindas da não conservação da energia.

5. Os consumidores da região 2, Joinville-Blumenau, de colonização predominantemente alemã, são os mais indicados para participarem do projeto piloto descrito anteriormente.

### 5.5 Execução da Pesquisa

Para a execução da pesquisa foram impressos 1000 questionários e enviados para consumidores sorteados nas faixas de consumo de 200 a 500 kWh por mês e acima deste valor, tanto para a região 1 como para a região 2, em lotes de 250 questionários por categoria de consumo e por região, totalizando 500 questionários por região. Estes questionários foram enviados juntos com uma carta de apresentação que explicava os motivos e a importância do estudo para a sociedade, enfatizando a colaboração de todos para possibilitar a implantação de medidas que resultem em melhoria no bem estar e padrão de vida de toda a coletividade. Adicionalmente, foi preparada uma outra carta, para ser remetida após 03 semanas do envio do questionário, lembrando aos consumidores a importância do preenchimento do questionário e agradecendo aos que já o tivessem feito.

A carta de apresentação, em papel timbrado da Universidade Federal de Santa Catarina, apresentava as razões e as motivações para a realização da pesquisa e continha a assinatura do coordenador do trabalho e do chefe do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC, dando um caráter oficial ao empreendimento.

Esta carta, junto com o questionário e um envelope já selado para o retorno deste questionário preenchido foi enviada para os consumidores sorteados aleatoriamente nas regiões de Florianópolis-S. José e Blumenau-Joinville, salientando-se que o sorteio foi efetuado junto com a CELESC, visto esta possuir o cadastro destes consumidores no Estado. Os envelopes usados, tanto para remeter os questionários como para o retorno dos mesmos, foram os oficiais da Universidade Federal de Santa Catarina.

Adicionalmente, tendo por objetivo aumentar o número de questionários respondidos, conseguiu-se por cortesia da AÇORIANA TURISMO, empresa de Florianópolis, um prêmio a ser sorteado entre aqueles que retornassem o questionário preenchido. Este prêmio constava de uma diária grátis de fim de semana, com direito a acompanhante, em um hotel de luxo na região de Águas Mornas, em S. Catarina.

Para possibilitar que o sorteio estivesse sincronizado à extração da loteria federal, os 1000 questionários enviados foram numerados de 000 a 999. O questionário sorteado seria aquele que tivesse o mesmo número da centena do 1º prêmio da loteria federal do dia 13/01/1996 e que chegasse a nós, devidamente respondido, até o dia anterior ao do sorteio em pauta. Caso não houvesse ganhador, seria escolhido o questionário recebido com número imediatamente inferior a centena sorteada.

A seleção da amostra estratificada foi realizada considerando a região e o nível de consumo, objetivando uma distribuição uniforme entre as categorias de consumidores, num total de 250 residências por estrato:

Região 1, para consumidores entre 200 e 500 kWh /mês

Região 1, para consumidores acima de 500 kWh/mês

Região 2, para consumidores entre 200 e 500 kWh/mês

Região 2, para consumidores acima de 500 kWh/mês .

A parte sócio-econômica do questionário procurava obter informações auxiliares à pesquisa e englobava questões relativas aos seguintes tópicos:

- Estado civil do chefe da família ou responsável pela residência
- Idade do chefe da família ou responsável pela residência
- Sexo do chefe da família ou responsável pela residência
- Grau de instrução do chefe da família ou responsável pela residência
- Nível de renda da família
- Estoque de equipamentos elétricos da residência e
- Número de pessoas que moram na residência .

O questionário continha, ainda, um espaço destinado tanto aos comentários que os respondentes desejassem fazer, como para acrescentar alguma informação adicional.

## 5.6 Recebimento dos questionários

Foram recebidos 420 questionários corretamente respondidos e 20 que só continham a parte sócio-econômica e que foram, portanto, invalidados. Dos 1000 questionários enviados, 98 foram devolvidos pelos correios devido a endereço insuficiente, logradouro público não existente, área fora do perímetro de entrega, o morador havia mudado ou este ser desconhecido no local.

Por outro lado, por ocasião do envio de uma carta-cobrança, após três semanas do encaminhamento da primeira correspondência, muitos consumidores nos telefonaram solicitando questionários, pois haviam recebido, segundo eles, somente a segunda carta. Adicionalmente, ainda por efeito desta carta, outras pessoas nos ligaram solicitando um novo questionário pois o primeiro tinha sido rasgado, jogado por engano no lixo, na churrasqueira, desaparecido ou, até mesmo, comido pelo cachorro, conforme nos citou uma senhora de Joinville.

Esta solicitação por questionários adicionais nos permitiu a utilização de muitos daqueles que haviam sido devolvidos. O processo de reenvio dos questionários obedecia a lógica de não descaracterizar a amostra, ou seja, a pessoa solicitante iria receber um questionário da mesma região e do mesmo segmento de consumo, mantendo intacto o significado estatístico desta amostra. Assim, por exemplo, se o consumidor solicitante fosse da área 1 e do segmento de consumo acima de 500 kWh, ele iria receber um novo questionário, na realidade um devolvido pelos correios, exatamente da mesma área e classe de consumo.

Este fato nos permitiu o reenvio de 41 questionários, diminuindo o número de devoluções para 57. Aliás, o efeito da segunda carta foi marcante e muitas pessoas telefonaram avisando que estavam postando seus questionários naquele dia. Outras informavam que estavam viajando e só agora iriam responder ao questionário. Um consumidor da Lagoa da Conceição, em Florianópolis, ligou-nos, preocupado, para saber se estávamos querendo falar com ele pelo fato de possuir uma pequena empresa em casa que fabricava batatas fritas e, como o processo funcionava basicamente à base de resistência elétrica, a sua carga era elevada e o consumo bem acentuado. Um outro consumidor, do Jardim Atlântico, também em Florianópolis, solicitava ajuda para diminuir o consumo de energia elétrica em sua residência, pois estava bastante preocupado com isto.

É de valia mencionar o aspecto dos comentários feitos pelos consumidores ao responderem aos seus questionários. Pode-se notar uma vontade, uma ânsia de participação da sociedade em decisões que afetam o bolso do contribuinte ou a sua qualidade de vida. Uma parte bastante significativa dos que responderam fez questão de assinalar algum comentário ou sugestão no tocante ao assunto conservação de energia e suas diversas ramificações sociais, políticas e econômicas. Muitos consumidores fizeram, inclusive, questão de justificar o porquê de suas respostas a certas questões específicas. A seguir, à guisa de ilustração, um apanhado destes comentários e/ou sugestões :



---

- Parabenizando a universidade pela iniciativa e solicitando pesquisas semelhantes em outras áreas, em especial no consumo de água.

- Sugerindo à universidade que elaborasse **dicas** que possibilitassem ao consumidor economizar energia elétrica.

- Sentindo-se orgulhoso em ter sido escolhido para participar da pesquisa.

- Salientando que a baixa qualidade no suprimento de energia elétrica só é bom para aqueles que possuem oficinas de reparos em equipamentos elétricos.

- Condenando o uso político das empresas de energia elétrica.

- Observando que a produção e transmissão de energia elétrica, mais do que um fator econômico, é uma arma política nas mãos dos governantes.

- Sugerindo aumentar a fiscalização sobre as ligações clandestinas.

- Comentando que a iniciativa privada, uma vez no setor de energia elétrica, não irá se interessar pela conservação de energia.

- Manifestando opinião de que a iniciativa privada só pode se estabelecer no setor elétrico se acompanhada de um sistema rígido de regulação.

- Reconhecendo que o custo do kWh no Brasil é muito alto se comparado ao salário do trabalhador.

- Solicitando coibir os excessos de enfeites públicos que gastem energia em praças e avenidas.

- Sugerindo usar a fatura para ensinar aos consumidores como conservar energia.

- Pedindo medidas para facilitar pesquisas e investimentos em fontes alternativas de energia.

- Comentando que os projetos desenvolvidos por engenheiros e arquitetos, por lei, deveriam levar em conta a conservação de energia.

- Salientando que o usuário, com financiamento da concessionária, deveria substituir as lâmpadas incandescentes por outras mais eficientes do ponto de vista energético.

- Achando que a energia elétrica é fator de segurança nacional, devendo ficar com o governo.

- Observando que a conservação de energia só é possível se existirem aparelhos eletrodomésticos mais eficientes.

- Reclamando que a multa cobrada em caso de atraso no pagamento da conta de luz é alta demais.

- Lembrando que muitos consumidores gastam alguma energia adicional no intuito de proteção e iluminação de suas propriedades, para aumentar o nível de segurança que deveria ser fornecido pelo Estado.

Como se percebe, a população está atenta e carente de participação. Existe, portanto, um amplo espaço para a atuação da universidade e dos poderes públicos no sentido de identificar as reais necessidades dos consumidores e trabalhar de modo eficiente para atendê-las.

Voltando agora à questão relativa à eficácia da metodologia empregada para a obtenção das respostas dos consumidores, podemos dizer que, em resumo, dos 1000 questionários enviados, 57 foram considerados como devolvidos, o que significa a cifra de 943 questionários realmente enviados. Destes, recebemos 440, sendo 20 eliminados por não terem sido totalmente respondidos. Assim, podemos contar com 420 questionários válidos num total de 943 enviados, o que dá uma percentagem de 44,54 %, bastante significativa para estudos deste tipo.

A tabela 5.3, apresentada na próxima página, mostra detalhadamente por região e segmento de consumo, os percentuais de aproveitamento da amostra selecionada. Nela são especificados o número de questionários enviados por região e nível de consumo, o número de questionários devolvidos, eliminados por não estarem completos e os efetivamente recebidos. São ainda acrescentados na tabela os valores por região e o total da amostra utilizada.

Nesta tabela, as colunas identificadas pelas letras A, B, C e D são usadas para o cálculo do percentual de aproveitamento da amostra, separada pela região e nível de consumo. Como exemplo, detalhemos o caso do total da amostra. Aqui foram enviados 1000 questionários e devolvidos pelos correios 57, o que dá um número efetivamente enviado de A-B, ou seja,  $1000 - 57 = 943$  questionários. Daqueles recebidos, C= 440, foram eliminados D=20 e então,  $C - D = 420$ , dá o número dos questionários aproveitados. A expressão  $(C - D) / (A - B)$  fornece assim o percentual procurado. No caso em tela, este valor será  $420 / 943 = 0,44538$  e o número colocado na tabela será de 44,54 %.

Tabela 5.3 - Percentuais de aproveitamento da amostra selecionada, por região, nível de consumo e valores totais.

	Questionários enviados (A)	Questionários devolvidos(B)	Questionários recebidos(C)	Questionários eliminados(D)	Percentual da amostra
Região 2-a	250	21	111	10	44,10
Região 2-b	250	14	114	04	46,61
Região 2	500	35	225	14	45,37
Região 1-a	250	17	107	03	44,63
Região 1-b	250	05	108	03	42,85
Região 1	500	22	215	06	43,72
<b>Total da amostra</b>	<b>1000</b>	<b>57</b>	<b>440</b>	<b>20</b>	<b>44,54</b>

## 5.7 Resumo

Neste capítulo foram apresentadas as principais ações no sentido de planejar e executar a pesquisa proposta.

Foram mostradas as metodologias para a identificação do potencial de conservação de energia elétrica, comentadas e analisadas de forma crítica, justificando-se a escolha da identificação do potencial de mercado como a mais adequada para estudar a viabilidade de implantação de um programa de GLD no segmento residencial em S. Catarina .

A seguir, foi feito um rápido apanhado sobre as características do consumo residencial de energia elétrica em Santa Catarina, salientando o crescimento desta energia, na estrutura de consumo final, ao longo dos últimos anos.

Mostrou-se que os quatro maiores pólos consumidores de energia elétrica, no que tange ao número de consumidores residenciais, são Florianópolis, Joinville, Blumenau e S. José. Para fins de realização da pesquisa, as cidades de Florianópolis e S. José foram englobadas

na região 1 e as cidades de Joinville e Blumenau na região 2. Estas cidades foram ainda escolhidas porque permitem verificar a influência da formação cultural sobre a conservação de energia.

No que concerne ao planejamento, o estudo de identificação do potencial de conservação deveria envolver pesquisa não experimental e obedecendo às seguintes etapas:

- Identificação das hipóteses a serem testadas no estudo.
- Organização do questionário de avaliação e características do mesmo.
- Seleção aleatória de consumidores a partir do cálculo do tamanho da amostra.
- Envio dos questionários através dos correios.

Para a execução da pesquisa, cada região anteriormente aludida foi dividida em dois estratos. O primeiro, segmento **a**, para aqueles consumidores com consumo médio mensal entre 200 e 500 kWh. O segundo, segmento **b**, compreendendo aqueles que consomem acima de 500 kWh. Os consumidores abaixo de 200 kWh de consumo mensal não foram incluídos na pesquisa por não possuírem suficiente margem de manobra no que tange a conservação de energia, visto possuírem reduzido estoque de equipamentos elétricos e os seus gastos serem mínimos, apenas aqueles necessários à sua sobrevivência e um pouco de lazer.

Foram então impressos 1000 (mil) questionários e enviados para cada região e segmento de consumo em lotes de 250 questionários, ou seja :

Região 1-a ..... 250 questionários

Região 1-b ..... 250 questionários

Região 2-a ..... 250 questionários

Região 2-b ..... 250 questionários

Estes questionários foram numerados de 000 a 999, de forma a possibilitar o sorteio de um prêmio entre aqueles que respondessem adequadamente às questões colocadas; este procedimento teve por objetivo aumentar o número dos respondentes.

Dos 1000 questionários enviados 57 foram devolvidos pelos correios, o que indica um número de 943 realmente enviados e recebidos pelos consumidores. Destes, recebemos 440 questionários, dos quais 420 válidos. Nossa percentagem de amostra válida para a pesquisa,

---

ficou assim em 420/943, ou seja, quase 45%, resultado altamente significativo em estudos deste tipo.

Foi bastante importante o envio de uma carta cobrança, encaminhada após três semanas da primeira correspondência, realçando a importância do questionário para ajudar a equacionar a questão energética no Estado, solicitando a colaboração dos consumidores para o seu preenchimento e agradecendo àqueles que já o tivessem feito.

Finalmente, cabe acrescentar, a população está atenta e carente de participação. Inúmeras opiniões e sugestões foram feitas pelos consumidores sobre a problemática social, política e econômica associada à questão da conservação da energia elétrica. Existe, portanto, um amplo espaço para a atuação da universidade e dos poderes públicos no sentido de identificar as reais necessidades dos consumidores e trabalhar de modo eficiente para atendê-las.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS**

#### **6.1 Introdução**

O processo de análise pode ser entendido como sendo o ordenamento dos dados, a separação destes dados em suas partes constituintes e a manipulação dos mesmos, de modo a obter respostas para as questões ligadas à pesquisa sendo efetuada.

Intimamente relacionada com a análise, a interpretação dos dados envolve tomar os resultados obtidos nesta fase, fazer inferências relevantes sobre as relações estudadas na pesquisa e tirar conclusões sobre tais relações. Trata-se, mesmo, de um aspecto especial da análise, e não de uma outra atividade separada.

A análise dos dados oriundos de um levantamento de campo requer uma mistura de arte e ciência, de intuição e visão, de julgamento e tratamento estatístico, combinado com um sólido conhecimento de contexto do problema sendo investigado (Tull e Albaum, 1973).

Usualmente o processo de análise e interpretação dos dados compreende os seguintes passos:

- Separar os dados obtidos em categorias apropriadas para a informação desejada, visto que a análise de conjuntos de dados de grande extensão, sejam eles de natureza qualitativa ou quantitativa, requer que os mesmos sejam agrupados em categorias ou classes.

• Efetuar a contagem de respostas para cada categoria, usando métodos e medidas de sumarização de modo a propiciar economia de descrição, facilitando o entendimento e a compreensão da informação. A sumarização aludida pode ser obtida pela tabulação dos dados em distribuições de frequência ou através de medidas estatísticas descritivas, que podem ser divididas em dois grandes blocos:

- Medidas de tendência central, que procuram mensurar os valores centrais das distribuições.

- Medidas de dispersão, que tratam do alcance e tipo de variações nos dados.

• Formular hipóteses adicionais, usando a indução derivada a partir dos dados que dizem respeito às variáveis relevantes no estudo, seus parâmetros, diferenças e relações, de modo a sugerir hipóteses de trabalho não consideradas originalmente.

• Fazer inferências, procurando obter conclusões sobre as variáveis que são importantes, seus parâmetros e relacionamentos. Uma vez que os dados tenham sido tabulados e sumarizados por medidas apropriadas, torna-se desejável analisá-los de modo a determinar se as diferenças observadas entre categorias são indicativas de diferenças reais ou são devidas a variações de chance na amostra.

As inferências são realizadas mediante técnicas de estimação e/ou testes de hipóteses. Na estimação, o pesquisador está interessado em estimar o valor de uma característica da população (parâmetro), que pode ser uma variável ou atributo, a partir da informação propiciada pela amostra. O valor calculado é chamado uma estatística.

No teste de hipótese, em geral, está se preocupado em:

- Determinar quando um valor populacional difere de um valor crítico;

- Determinar quando certas populações ou partes destas populações diferem, uma das outras, em características particulares;

- Inferir relacionamentos entre variáveis e/ou atributos. A validade de inferências sobre a população a partir de amostras é julgada na base da significância estatística.

## 6.2 Categorização dos dados

Para fins de testes das hipóteses estabelecidas no capítulo V, os dados da amostra foram categorizados da seguinte forma:

a) Por região, sendo a área de Florianópolis/ S. José a região 1 e Blumenau/Joinville a região 2.

b) Por nível de consumo, estabelecendo dois conjuntos distintos, os que consomem mensalmente entre 200 e 500 kWh de energia elétrica e aqueles que consomem acima de 500 kWh por mês.

c) Por nível de escolaridade, separando os respondentes entre aqueles com formação superior e aqueles que não possuem esta formação. Estes últimos incluem os respondentes com curso superior incompleto, secundário completo, secundário incompleto e outra situação.

d) Por nível de renda, onde os respondentes foram agrupados pelo nível de renda familiar em termos de salários-mínimo. Compreende as famílias que possuem nível de renda abaixo de 10 s.m., entre 10 e 19 s.m., entre 20 e 50 s.m. e acima de 50 s.m., respectivamente.

Adicionalmente, tendo por objetivo o estabelecimento de possíveis hipóteses adicionais, foram ainda levantados da amostra os seguintes dados:

- Faixa de idade dos respondentes, incluindo aqueles com menos de 30 anos de idade, os que possuem entre 30 e 39 anos, entre 40 e 49 anos, entre 50 e 60 anos e acima de 60 anos, respectivamente.

- Número de pessoas que moram na residência, compreendendo 01 pessoa, 02 pessoas, 03 pessoas, 04 pessoas, 05 pessoas e acima de 05 pessoas, respectivamente.

- Número de respondentes que possuem micro-computador, associando esta posse ao nível de escolaridade, nível de renda e região.

### **6.3 Tabulação e sumarização dos dados categorizados**

As tabulações dos dados relativos à idade do respondente, nível de escolaridade, nível de renda, número de pessoas que moram na residência e posse de micro-computador estão apresentadas nas tabelas 6.1 a 6.6, a seguir. As tabulações dos dados relativos ao nível de consumo e região já foram apresentadas na tabela 5.3 do capítulo V. Para facilitar o entendimento dos dados apresentados nas tabelas 6.1 a 6.4, foram elaborados os gráficos correspondentes, em forma de histogramas. Estes gráficos, figuras 6.1 a 6.4, estão apresentados logo abaixo de cada tabela e permitem evidenciar a distribuição dos dados coletados na amostra. Para a faixa de consumo escolhida, acima de 200 kWh/mês, o consumidor médio tem entre 40 e 49 anos, possui renda familiar na faixa de 20 a 50 salários-mínimo, nível de escolaridade superior e, na residência, moram cerca de 04 pessoas.



Tabela 6.1 - Número de respondentes por faixa de idade

IDADE, EM ANOS	NÚMERO E PERCENTUAL
Menos do que 30	12 (2,80)
Entre 30 e 39	94 (22,40)
Entre 40 e 49	171 (40,70)
Entre 50 e 60	83 (19,80)
Mais do que 60	60 (14,30)

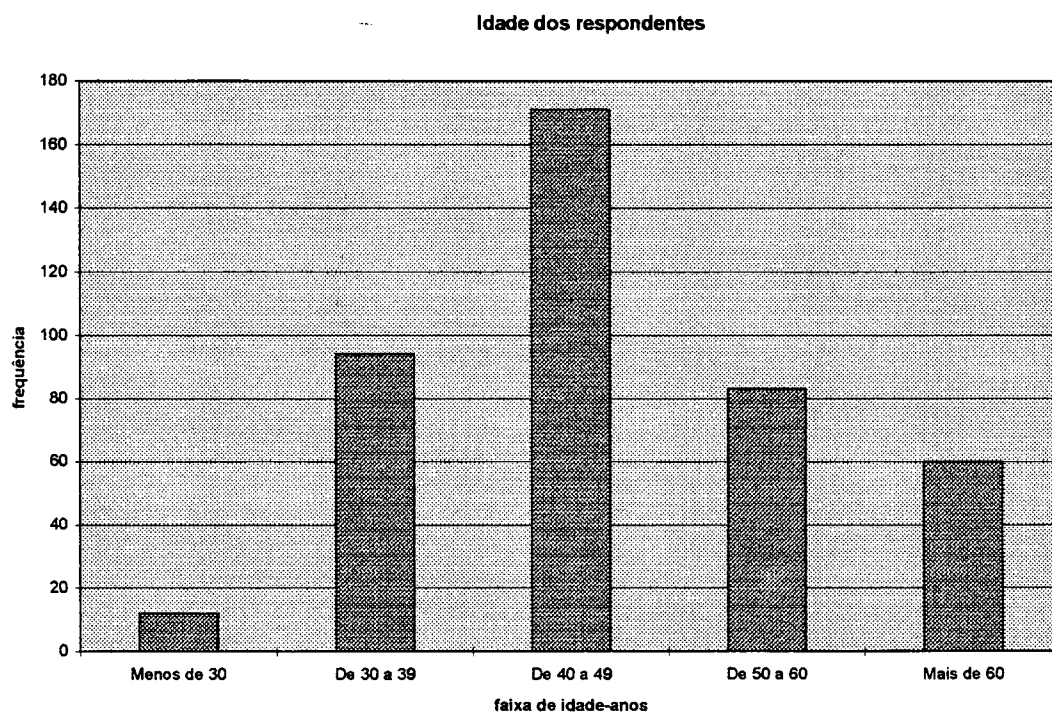


Fig. 6.1- Idade dos respondentes

Tabela 6.2 - Número de respondentes por grau de escolaridade

NÍVEL DE ESCOLARIDADE	NÚMERO E PERCENTUAL
Superior completo	203 (48,30)
Superior incompleto	37 (8,80)
Secundário completo	76 (18,10)
Secundário incompleto	54 (12,90)
Outra situação	50 (11,90)

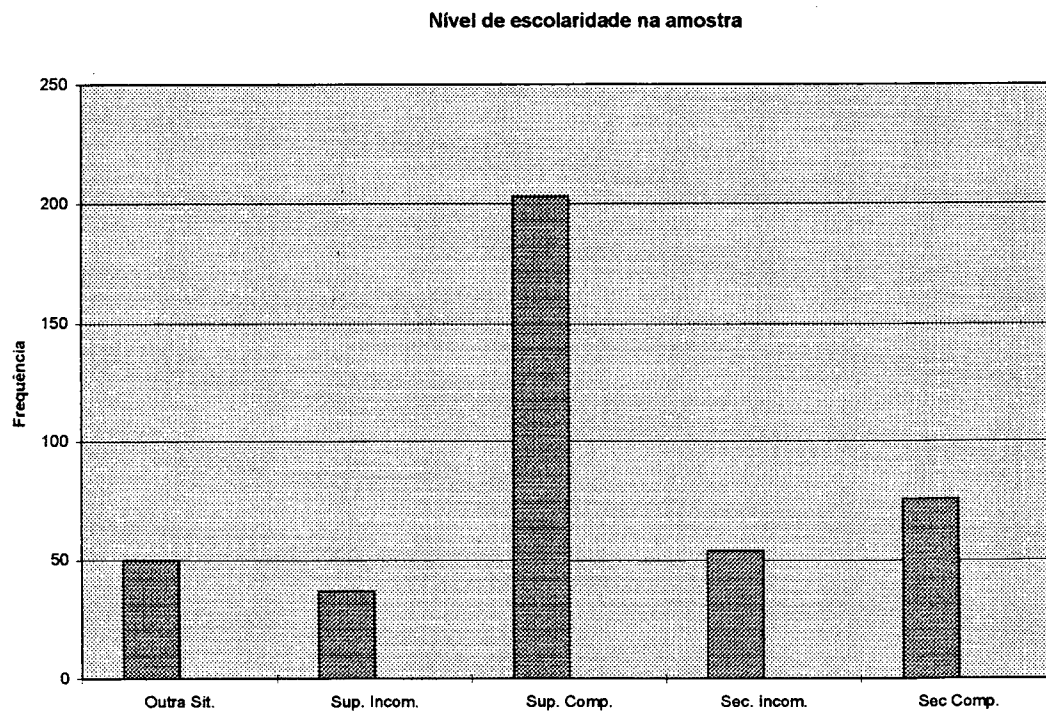


Fig. 6.2 - Nível de escolaridade dos respondentes

Tabela 6.3 - Número de respondentes por nível de renda

NÍVEL DE RENDA FAMILIAR, EM NÚMERO DE SALÁRIOS MÍNIMOS	NÚMERO E PERCENTUAL
Mais do que 50.	51 (12,15)
Entre 20 e 50	161(38,35)
Entre 10 e 19	102( 24,30)
Menos do que 10	106 (25,20)

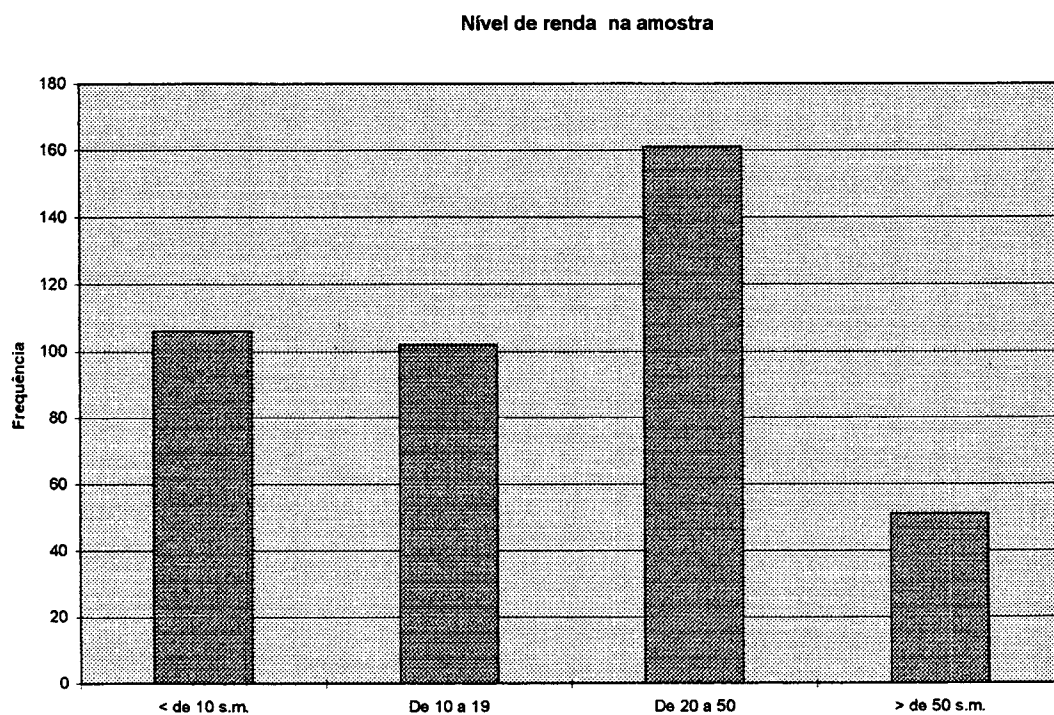


Fig. 6.3 - Nível de renda dos respondentes

Tabela 6.4 - Número de pessoas que moram na residência

PESSOAS QUE MORAM NA RESID.	NÚMERO E PERCENTUAL
01	04 (0,95)
02	37 (8,80)
03	75 (17,85)
04	138 (32,85)
05	96 (22,85)
Mais do que 05	70 (16,70)

Número de pessoas por residência na amostra

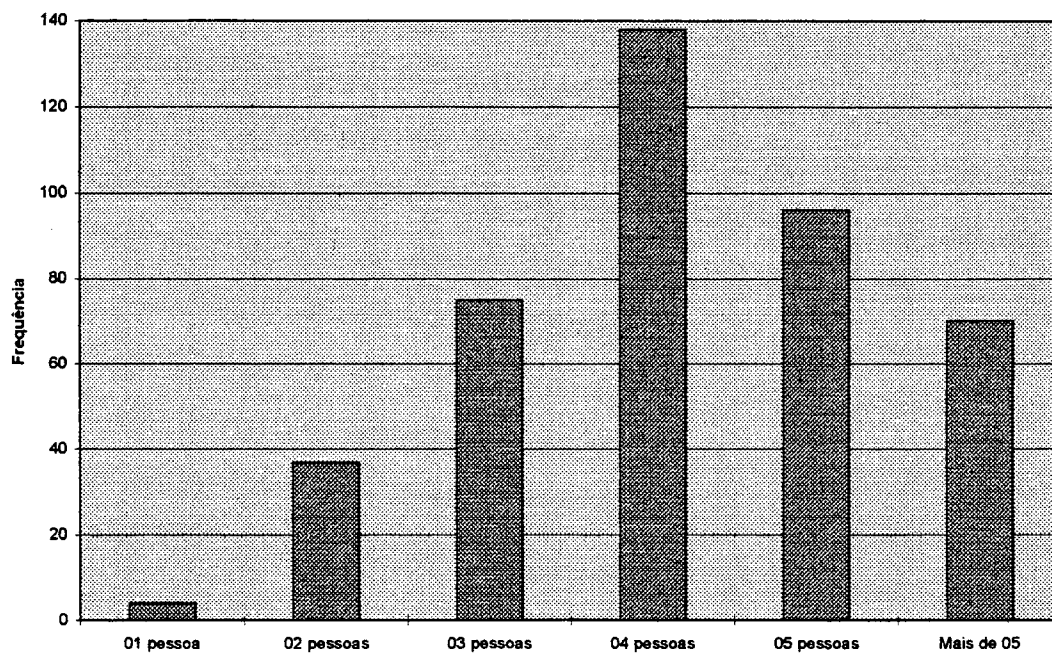


Fig. 6.4 - Número de pessoas por residência

O estabelecimento das tabelas 6.5 e 6.6, a seguir, teve por objetivo verificar se a posse de micro-computadores e portanto, de um maior nível de informação, estaria relacionada à atitude do consumidor frente a problemática da conservação de energia. Seria o caso daqueles que possuem micro-computadores serem mais ativos e engajados nas campanhas de conservação de energia?

Tabela 6.5 - Frequência de posse de micro contra nível de escolaridade

GRAU DE INSTRUÇÃO	REGIÃO 1	REGIÃO 2
NÍVEL SUPERIOR	67	33
NÍVEL NÃO SUPERIOR	15	22
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>55</b>

Tabela 6.6 - Frequência de posse de micro x nível de renda familiar

NÍVEL DE RENDA, EM SALÁRIOS MÍNIMO	REGIÃO 1	REGIÃO 2
Maior ou igual a 20	67	38
Menor do que 20	15	17
<b>TOTAL</b>	<b>82</b>	<b>55</b>

A observação das tabelas aludidas e o consequente emprego do teste do qui-quadrado, no entanto, nos mostra que existe uma acentuada correlação entre nível de escolaridade e

posse de micro-computador, o mesmo não ocorrendo com o nível de renda e posse de micro. A correlação entre o nível de escolaridade e a posse de micro-computador é estatisticamente significativa ao nível de 0,01 ou 1%.

Como o nível de escolaridade já está contemplado em uma das hipóteses a serem testadas no decorrer da pesquisa, a questão da posse de micro-computador e o seu relacionamento à atitude do consumidor frente a conservação de energia já estaria assim sendo examinada.

#### **6.4 Procedimentos para o teste das hipóteses**

Para efetuar os testes das hipóteses estabelecidas no capítulo V e obter conclusões sobre o tema da pesquisa, foram realizadas simulações digitais empregando-se a técnica de estatística multivariada chamada ANÁLISE FATORIAL. Esta técnica estatística permite tornar os dados observados mais facilmente interpretados. Isto é feito analisando-se os inter-relacionamentos entre as variáveis, de tal modo que estas possam ser descritas, convenientemente, por um grupo de categorias básicas, em número menor que as variáveis originais, chamadas fatores. Os fundamentos da Análise Fatorial estão apresentados no apêndice II.

Complementando os estudos de análise fatorial, também foram feitos testes de significância estatística com o objetivo de aceitar, ou não, as hipóteses definidas no capítulo V. Estes testes foram realizados mediante análise de variância (ANOVA / MANOVA). As simulações de análise fatorial e de significância estatística foram processadas com a ajuda do programa STATISTICA FOR WINDOWS, STATSOFT INC., versão 5.0, 1995,

Os dados de entrada para estas simulações foram obtidos a partir dos dados gerais, coletados da amostra. Estes dados foram tabulados na forma de uma matriz de ordem 420x15, ou seja, correspondendo as 15 respostas dos 420 consumidores. As categorias envolvidas na pesquisa foram codificadas segundo o esquema abaixo, com as abreviaturas e códigos correspondentes:

- Consumidores com nível de escolaridade superior (N-ESC) - código 6
- Consumidores com nível de escolaridade não superior (N-ESC) - código 7
- Consumidores com renda acima de 20 salários-mínimo (N-REN) - código 8
- Consumidores com renda inferior a 20 salários-mínimo (N-REN) - código 9
- Consumidores da região de Florianópolis e S. José (REGIÃO) - código 10
- Consumidores da região de Blumenau e Joinville (REGIÃO) - código 11

- Consumidores que consomem entre 200 e 500 kWh/mês (CONS) - código 12
- Consumidores que consomem acima de 500 kWh/mês (CONS) - código 13.

As simulações efetuadas obedeceram ao seguinte esquema:

1. Análise do questionário utilizado na coleta de dados envolvendo toda a amostra, ou seja, o caso geral. Busca determinar o número de fatores mais adequado à pesquisa, identificar tais fatores, os carregamentos fatoriais significativos e as variáveis subjacentes a estes carregamentos.

2. Determinação das relações funcionais entre as variáveis (itens do questionário) e os fatores selecionados, a partir da matriz dos carregamentos fatoriais.

3. Para as categorizações escolhidas, que compreendem o nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo mensal de energia elétrica e região, determinar os escores fatoriais consoante as relações funcionais descritas na etapa 2.

4. Realização de testes de significância estatística, para testar as hipóteses formuladas, a partir dos escores fatoriais obtidos no item anterior.

### 6.5 Determinação do número de fatores no caso geral.

Segundo nos ensina Kaiser (Harman, 1976), o número de fatores está compreendido entre  $1/6$  e  $1/3$  do número de variáveis (itens). Como temos 15 variáveis, associadas às perguntas do questionário, vamos considerar uma faixa de 03 a 05 fatores. Adicionalmente, Kaiser ainda recomenda que somente devem ser levados em conta os autovalores acima de 1,00.

Trabalhando com o método das componentes principais (vide apêndice II) e atendendo ao exposto no parágrafo anterior, foi feita uma simulação de análise fatorial para 03 fatores, inicialmente. A matriz dos carregamentos fatoriais para este caso está mostrada na tabela 6.7, a seguir.

O nível de significância para os carregamentos fatoriais é assunto controverso na literatura de análise fatorial e bastante subjetivo nas análises efetuadas por diversos pesquisadores (Kerlinger, 1986). No nosso caso, este nível foi estabelecido a partir da matriz de correlações e utilizando a tabela de erro padrão dos coeficientes fatoriais (Harman, 1976). Como o erro padrão calculado para uma amostra de 420 consumidores ficou em torno de 12%, o nível de significância adotado foi de duas vezes o erro padrão, ou seja, aproximadamente 25%.

Na tabela 6.7 podemos observar que as variáveis 1,3,4,12,13 e 14 determinam o fator 1, ao passo que as variáveis 7 e 8 estabelecem o fator 2. As variáveis 5,6,9,10 e 11 estão relacionadas ao fator 3. Os carregamentos fatoriais das variáveis 2 e 15 são inexpressivos e de-

vem ser abandonados. O próprio carregamento fatorial da variável 4 é apenas marginalmente superior ao nível de significância adotado. Isto pode ser melhor observado nas comunalidades das referidas variáveis: Comunalidade da variável 2 = 0,065; comunalidade da variável 4 = 0,117 e comunalidade da variável 15 = 0,029. Observa-se, portanto, que estas variáveis não contribuem para a análise fatorial e devem ser eliminadas.

Os autovalores da matriz não rodada são 2,03; 1,93 e 1,50. O nível de variância explicada é de 36,4%. O efeito das baixas comunalidades das variáveis 2, 4 e 15 e ainda a concentração fatorial observada no fator 2 podem ter ocasionado a não diminuição da variância explicada na medida em que caminhamos do fator 1 para o fator 3.

Tabela 6.7 - Matriz de carregamentos fatoriais para o caso geral e 03 fatores. Caso com 420 consumidores e quinze variáveis. Método das componentes principais. Rotação VARIMAX

STAT. ANÁLISE FATORIAL	CARREGAMENTOS FATORIAIS RODADOS COMPONENTES PRINCIPAIS- VARIMAX		
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3
VAR1	.539221	.008216	-.076217
VAR2	.150046	.025937	.205925
VAR3	.548077	.019064	-.261496
VAR4	.263771	.002221	.219739
VAR5	.236977	.025065	.527769
VAR6	.099360	.031633	.647127
VAR7	-.046241	-.976011	-.010159
VAR8	.023676	-.979704	.020241
VAR9	-.020110	-.136500	.589956
VAR10	-.116483	.049333	.458850
VAR11	-.224918	.006406	.423424
VAR12	.554408	-.003699	.346488
VAR13	.586979	.027493	.123617
VAR14	.525807	.071082	.085570
VAR15	.145894	-.083916	-.033514
VAR. EXP.	1.766197	1.949126	1.744365
PR. TOTAL	.117746	.129942	.116291

A confiabilidade global dos indicadores, neste caso, poderá ser calculada com o auxílio da expressão A-II.8, do apêndice II e vale:

$$\theta = (15/14) \cdot (1 - 1/2,03) = 0,543$$

Consoante as observações dos parágrafos anteriores, um novo caso foi processado sobre a amostra geral de 420 consumidores, agora eliminando as variáveis 2, 4 e 15, face às baixas comunalidades exibidas. Este caso está apresentado na tabela 6.8.



Como pode ser observado nesta tabela, o nível da variância explicada cresceu de 36,4% para 44,6%, um acréscimo substancial. Houve uma inversão na ordem dos fatores e agora a variância explicada decresce, como deve ser no método das componentes principais, à medida que vão sendo extraídos os fatores.

Tabela 6.8 - Carregamentos fatoriais rodados para o caso geral e 03 fatores, com 420 consumidores e sem as variáveis 2, 4 e 15, devido as baixas communalidades das mesmas.

STAT. ANÁLISE FATORIAL	CARREGAMENTOS FATORIAIS RODADOS COMPONENTES PRINCIPAIS-VARIMAX		
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3
VAR1	.007482	.514996	-.150138
VAR3	.016667	.488399	-.350171
VAR5	.026469	.266523	.478825
VAR6	.028777	.177569	.628313
VAR7	-.977439	-.042973	-.003588
VAR8	-.979712	.020181	.014130
VAR9	-.140398	.046887	.574880
VAR10	.059269	-.072778	.485805
VAR11	.002221	-.148278	.458503
VAR12	-.006625	.629223	.309423
VAR13	.026402	.648295	.098198
VAR14	.064200	.549836	.025608
VAR.EXP.	1.945178	1.756582	1.652184
PR.TOTAL	.162098	.146382	.137682

Os autovalores da matriz não rodada, para este caso, foram os seguintes: 1,98, 1,87 e 1,49. Observando os carregamentos fatoriais à luz das questões formuladas no questionário, podemos identificar os seguintes fatores:

- Fator 1 - Compreende as variáveis 7 e 8, com carregamentos bastantes acentuados e com sinal negativo, indicando um posicionamento contrário ao construto subjacente. Neste sentido, este fator estaria associado a um posicionamento a favor da iniciativa privada, apologista da construção de novas usinas na medida em que o mercado delas necessite, e não preocupado com a economia da energia e os recursos daí advindos, recursos estes que poderiam ser utilizados em outras áreas carentes de investimentos no Brasil. Chamaremos este fator de **privatista-liberal**.

- Fator 2 - Compreende as variáveis 1, 3, 12, 13 e 14. Engloba um posicionamento favorável a economia de recursos de um modo geral, preocupado a nível pessoal em poupar energia e também em pagar uma conta de luz mais baixa no fim do mês. Defende uma utilização mais racional da energia elétrica, mesmo tendo que sacrificar seu padrão de vida e conforto. Chamaremos este fator de **potencial de conservação**.

• Fator 3 - Compreende as variáveis 5, 6, 9, 10 e 11. Indica também uma preocupação com a conservação de energia, mas aqui o pano de fundo é a motivação social e ecológica. A presença do Estado no setor elétrico é vista como necessária para que este setor seja controlado e assim permitir que segmentos mais carentes da população também tenham acesso aos benefícios da energia elétrica. Chamaremos este fator de **visão social, política e ecológica da conservação**.

Para verificar o agrupamento das variáveis, foram elaboradas as figuras 6.5 e 6.6, aproveitando os recursos do programa computacional. Na figura 6.5 as variáveis estão dispersas em duas dimensões, apresentado num dos eixos o fator 1 e, no outro, o fator 2.

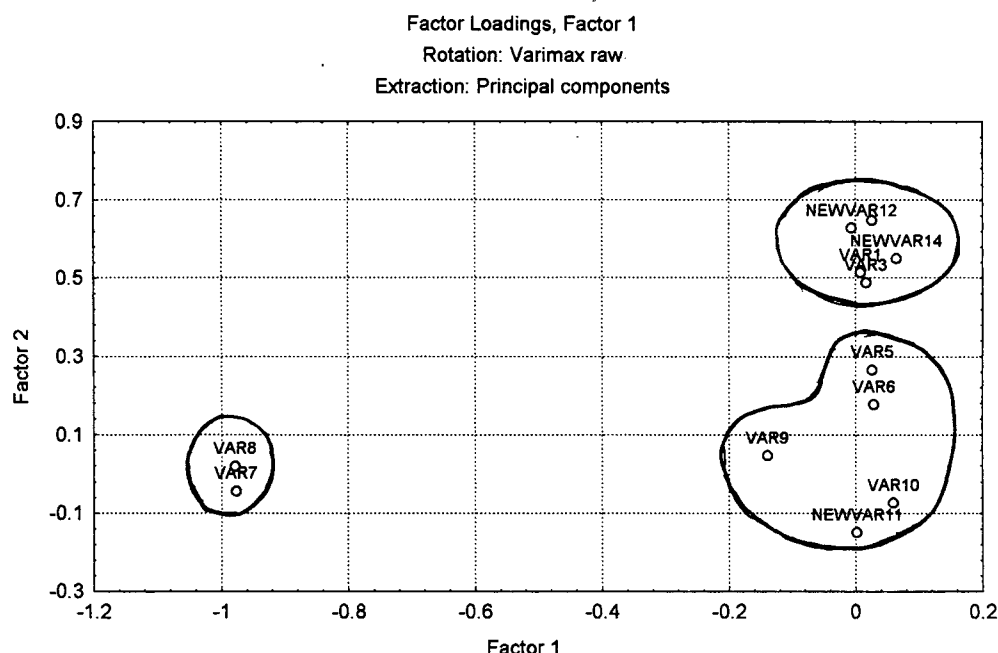


Fig. 6.5- Carregamentos fatoriais: Fator 1 contra Fator 2 (A partir da variável 11 as variáveis são denominadas newvar. Assim, newvar 11 é o mesmo que variável 11).

Como pode ser verificado na figura, aparecem três blocos (ou fatores) distintos de variáveis agrupadas:

1. Bloco1 - Compreende as variáveis 7 e 8 e identifica o fator 1.
2. Bloco 2 - Compreende as variáveis 1, 3, 12, 13 e 14 e identifica o fator 2.
3. Bloco 3 - Compreende as variáveis 5, 6, 9, 10 e 11 e identifica o fator 3.

Já a figura 6.6 apresenta os três fatores no espaço tri-dimensional, sendo cada eixo um dos fatores. Observar que a partir da variável 11 as variáveis são representadas por newvar. Assim newvar 11 é o mesmo que a nossa variável 11, por exemplo.

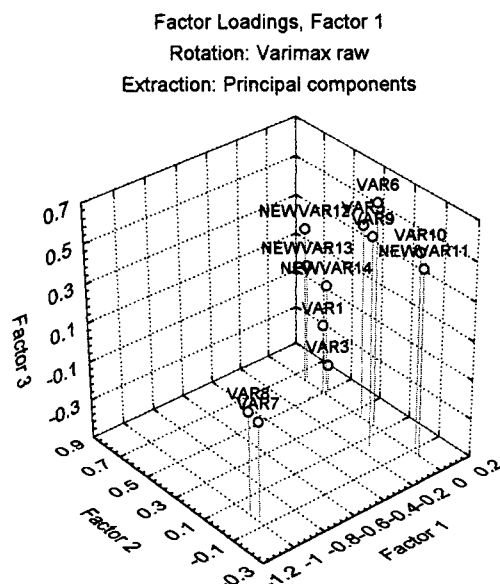


Fig. 6.6- Representação dos carregamentos fatoriais em três dimensões.

Os valores de confiabilidade e de validade calculados para os indicadores associados a cada um dos fatores foram os seguintes:

$$\theta_1 = 0,95 \text{ e } Val_1 = 95\% ; \theta_2 = 0,48 \text{ e } Val_2 = 33\% ; \theta_3 = 0,36 \text{ e } Val_3 = 28\%. \quad (6.1)$$

Dando sequência à análise exploratória quanto ao número de fatores, foi processado o caso geral com 420 consumidores e quinze variáveis, fixando-se o número de fatores igual a quatro e empregando o método das componentes principais. Este caso está mostrado na tabela 6.9. Como pode ser observado nesta tabela, houve perda de variância explicada em relação ao caso anterior, com três fatores, caindo de 44,6% para 44,4%. Além disto, a variância não está decrescendo na medida em que passamos do fator 1 para os outros fatores. Tal fato pode ser atribuído a baixa comunalidade da variável 4, que deve ser eliminada. O caso com 420 consumidores e sem a variável quatro está mostrado na tabela 6.10.

Nesta tabela pode ser verificado que houve um pequeno ganho na variância explicada em relação ao caso da tabela 6.8. A variância passou agora para 47,4%, um ganho marginal em relação aos 44,6% do caso com três fatores. Também se observa que a variância passa a decrescer à medida que se extraem os fatores, o que é o correto no método empregado. A interpretação dos fatores se mantém inalterada em relação ao fator privatista-liberal e ao fator visão social, política e ecológica da conservação (fatores 1 e 3, respectivamente, na tabela). O fator **potencial de conservação** foi alterado pela presença das variáveis 2 e 15, tendo sido desmembrado em dois fatores, um mais ligado à conservação da energia em si e compreendendo as variáveis 1, 2, 3 e 15, fator 4 na tabela, e o outro mais associado à redução de custos devido a uma menor conta de luz, o fator 2 na tabela, associado às variáveis 12, 13 e 14. De um modo geral, perde-se a síntese conseguida anteriormente com três fatores.

Tabela 6.9 - Matriz de carregamentos fatoriais rodados e para 04 fatores. Caso geral com 420 consumidores e quinze variáveis. Método das componentes principais e rotação VARIMAX.

STAT. ANÁLISE FATORIAL	CARREGAMENTOS FATORIAIS RODADOS COMPONENTES PRINCIPAIS - VARIMAX			
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3	FATOR 4
VAR1	.289032	.014877	-.032964	.530372
VAR2	-.184193	.041480	.370705	.574351
VAR3	.271465	.025465	-.217953	.551946
VAR4	.255767	.002235	.198167	.115384
VAR5	.225623	.027756	.532244	.147547
VAR6	.238087	.029475	.602216	-.107098
VAR7	-.023216	-.977058	-.017412	-.049235
VAR8	.004550	-.979146	.026286	.038834
VAR9	.035349	-.134462	.602567	-.022795
VAR10	-.146946	.055058	.522598	.063780
VAR11	.048862	-.001092	.342827	-.433368
VAR12	.692559	-.011552	.212858	-.005408
VAR13	.697387	.018982	-.015076	.020914
VAR14	.572335	.065652	-.012963	.095201
VAR15	-.125095	-.073036	.083081	.450103
VAR. EXP.	1.699160	1.948855	1.678559	1.370822
PR. TOTAL	.113277	.129924	.111904	.091388

Tabela 6.10 - Matriz de carregamentos fatoriais rodados para 04 fatores. Caso geral sem a variável 4. Método das componentes principais e rotação VARIMAX.

STAT. ANÁLISE FATORIAL	CARREGAMENTOS FATORIAIS RODADOS COMPONENTES PRINCIPAIS- VARIMAX			
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3	FATOR 4
VAR1	.014626	.306523	-.047128	.527697
VAR2	.041054	-.153568	.366796	.594271
VAR3	.026418	.265499	-.246989	.532246
VAR5	.029246	.220893	.511627	.147413
VAR6	.030181	.244206	.598668	-.097324
VAR7	-.977046*	-.023962	-.015099	-.049279
VAR8	-.979070*	.005133	.024840	.038903
VAR9	-.134479	.052553	.606976	-.003420
VAR10	.054306	-.119621	.535060	.090776
VAR11	-.000809	.045698	.352968	-.425626
VAR12	-.011995	.710132*	.210760	-.004774
VAR13	.017794	.724427*	-.008514	.022310
VAR14	.066240	.568976	-.029111	.080615
VAR15	-.073609	-.109772	.076812	.459369
VAR. EXP.	1.948863	1.681084	1.649310	1.357500
PR. TOTAL	.139204	.120077	.117808	.096964

A confiabilidade e a validade para os quatro fatores são, para os dados da tabela 6.10, 0,536 e 47,39%, respectivamente, valores praticamente iguais ao do caso com três fatores e sem as variáveis 2, 4 e 15 da tabela 6.8, a saber, 0,54 para a confiabilidade e 44,6% para a validade.

Como o caso com 04 fatores não apresentou nenhum ganho significativo em relação ao caso com 03 fatores, a próxima tentativa seria examinar a alternativa com 05 fatores, limite extremo para esta pesquisa. Este caso está mostrado na tabela 6.11, a seguir. Pode ser observado que a variância explicada cresceu para cerca de 52% e que a confiabilidade global se manteve nos mesmos patamares anteriores, cerca de 54%. Além disto, face ao maior número de fatores, aparece uma pulverização dos indicadores significativos por fator, o que não é boa prática em análise fatorial, dificultando a interpretação e destruindo a síntese almejada. Não vemos, neste caso, nenhum ganho substancial em relação aos casos anteriores

Tabela 6.11 - Matriz dos carregamentos fatoriais rodados para o caso geral e 05 fatores. 420 consumidores e 15 variáveis. Método das componentes principais e VARIMAX.

STAT. ANÁLISE FATORIAL	CARREGAMENTOS FATORIAIS RODADOS COMPONENTES PRINCIPAIS- VARIMAX				
VARIÁVEL	FATOR 1	FATOR 2	FATOR 3	FATOR 4	FATOR 5
VAR1	.258396	-.015635	-.014280	.297333	.459663
VAR2	-.144577	-.042024	.236903	.616290	.211034
VAR3	.067136	-.020847	-.020465	.072852	.718626*
VAR4	-.073163	.008085	.503739	-.226439	.445561
VAR5	.096701	-.023246	.611194	.123403	.143737
VAR6	.181323	-.026922	.626538	.034658	-.128571
VAR7	-.024984	.977327*	-.013948	-.038885	-.031209
VAR8	.005633	.979211*	.018677	.038902	.018891
VAR9	.070586	.134592	.514911	.223078	-.213509
VAR10	.054813	-.060123	.262789	.458404	-.355631
VAR11	.025111	.003043	.368670	-.228753	-.353151
VAR12	.743276*	.007908	.207887	.012649	.010404
VAR13	.807615*	-.025178	-.055302	.013292	.024034
VAR14	.461290	-.064153	.138380	-.140039	.301665
VAR15	.100462	.065619	-.183307	.608440	.005036
VAR. EXP.	1.576616	1.948655	1.646285	1.246631	1.397784
PR. TOTAL	.105108	.129910	.109752	.083109	.093186

**Em conclusão,** das tabelas analisadas e das considerações anteriores, o caso com 03 fatores nos parece o mais adequado ao projeto de pesquisa, estando sincronizado à idealização dos construtos mostrada anteriormente e apresentando a parcimônia desejada em estudos de análise fatorial. Embora as variáveis tenham sido mescladas de modo diferente do originalmente concebido, a síntese efetuada ganha em riqueza e interpretação, ao verificar que a conservação de energia não pode estar dissociada da economia de recursos de um modo geral.

Além disto, a presença de um fator privatista-liberal mostra que acentuada parcela dos consumidores deseja menos interferência do Estado nas questões ligadas à energia elétrica e mais economia de mercado neste setor. O quadro se completa com a existência de consumidores preocupados com a conservação de energia mas motivados por considerações políticas, sociais e ecológicas, dando origem a um terceiro fator.

## 6.6 Correlações entre os agrupamentos de variáveis

A partir da escolha do número de fatores mais adequado à pesquisa, interessa-nos avaliar o grau de correlação existente entre os agrupamentos das variáveis indicadoras de cada fator. Muito embora os fatores sejam ortogonais, as variáveis podem se agrupar em torno destes fatores de modo a que possa haver alguma correlação entre elas.

O grau de correlação entre os agrupamentos das variáveis indicadoras dos fatores poderá ser calculado pela expressão ( Zeller e Carmines, 1980 ):

$$r_{x-y} = \frac{e}{\sqrt{(a+2b)(c+2d)}} \quad (6.2)$$

onde  $r_{x-y}$  é a correlação entre os indicadores do fator x e os indicadores do fator y, e é a soma das correlações entre as variáveis indicadoras de x e de y, a é o número dos indicadores de x, b é a soma das correlações entre os indicadores de x, c é o número de indicadores de y e, finalmente, d é a soma das correlações entre os indicadores de y.

Partindo então da matriz das correlações para o caso com 03 fatores e sem as variáveis 02, 04 e 15, e ainda aplicando a expressão anterior, podemos calcular  $r_{1-2} = -0,0475$  e daí obtermos o ângulo entre estes dois agrupamentos de variáveis, ou seja,  $\phi_{1-2} = 92,72^\circ$ .

De modo análogo, podem ser avaliadas as demais correlações e ângulos entre agrupamentos:  $r_{1-3} = 0,0146$ ,  $\phi_{1-3} = 89,16^\circ$ ,  $r_{2-3} = 0,099$  e  $\phi_{2-3} = 84,29^\circ$ . Por outro lado, devido aos erros aleatórios que aparecem nos processos de medições e que se refletem nos índices de confiabilidade, as correlações devem ser corrigidas, dado que a correlação teórica é maior do que a correlação entre os indicadores, o que se denomina de **atenuação**. A fórmula para a correção devida a atenuação se anota (Zeller e Carmines, 1980):

$$\rho_{x-y} = \frac{r_{x-y}}{\sqrt{\theta_x \theta_y}} \quad (6.3)$$

Onde  $\rho_{x-y}$  é a correlação já corrigida pela atenuação e  $\theta_x$  e  $\theta_y$  as confiabilidades dos indicadores de x e de y, respectivamente. Assim, empregando-se a fórmula anterior e os valores de confiabilidade já calculados anteriormente em (6.1), podemos obter:

$$\rho_{1-2} = -0,070 \text{ e } \varphi_{1-2} = 94^\circ$$

$$\rho_{1-3} = 0,025 \text{ e } \varphi_{1-3} = 88,57^\circ \text{ e}$$

$$\rho_{2-3} = 0,238 \text{ e } \varphi_{2-3} = 76,22^\circ. \quad (6.4)$$

Os valores calculados em (6.4), mostram o que já era esperado, ou seja, nenhum grau de correlação entre o fator privatista-liberal e os outros dois fatores, com os ângulos entre os agrupamentos praticamente ortogonais. Por outro lado, dado que os fatores potencial de conservação e visão social, política e ecológica da conservação possuem pontos em comum, a própria preocupação com a conservação, embora por motivações diferentes, é de se esperar algum grau de correlação entre eles. Esta correlação atinge a 0,24, com o ângulo entre os dois agrupamentos sendo de, aproximadamente, 76 graus. Este valor está em concordância, face as aproximações de cálculo, com o obtido graficamente, figura 6.7.

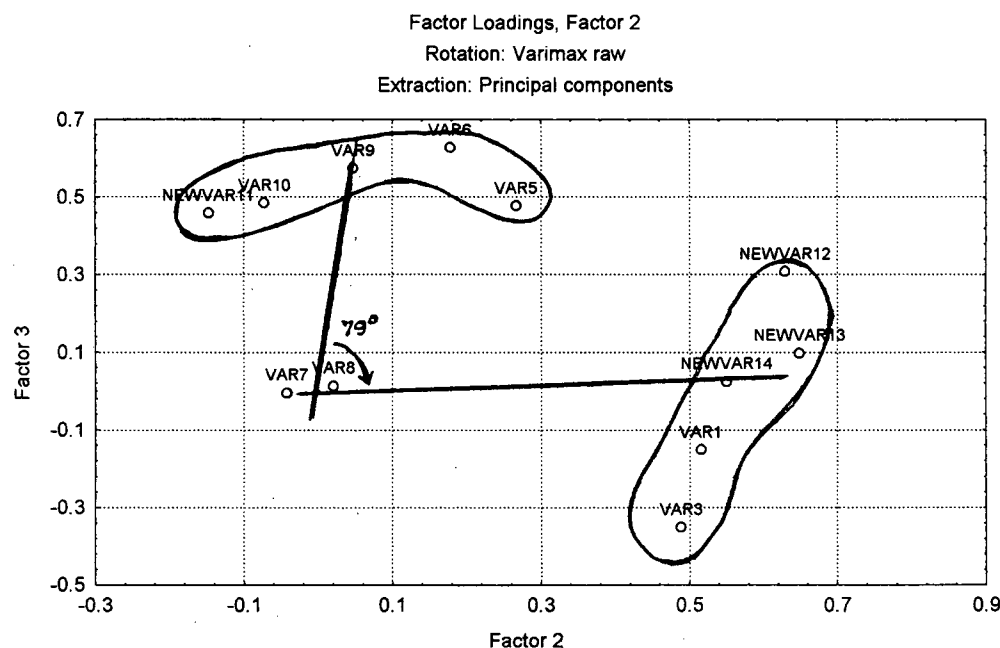


Fig. 6.7 - ângulo entre os agrupamentos 2 e 3.

## 6.7 Determinação dos escores fatoriais

A etapa subsequente da pesquisa foi a determinação dos escores fatoriais, tendo por objetivo a posterior comparação de desempenho entre os grupos de consumidores selecionados. Para o cálculo destes escores fatoriais foram levantadas relações funcionais a partir da matriz de carregamentos fatoriais escolhida.

Partindo-se assim da matriz de carregamentos da tabela 6.8, podemos escrever as seguintes equações:

$$\text{Escore 1} = -0,977439 \cdot \text{VAR 7} - 0,979712 \cdot \text{VAR 8} \quad (6.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Escore 2} = & 0,514996 \cdot \text{VAR 1} + 0,488399 \cdot \text{VAR 3} + 0,629223 \cdot \text{VAR 12} + \\ & + 0,648295 \cdot \text{VAR 13} + 0,549836 \cdot \text{VAR 14} \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned} \text{Escore 3} = & 0,478825 \cdot \text{VAR 5} + 0,628313 \cdot \text{VAR 6} + 0,574880 \cdot \text{VAR 9} + \\ & + 0,485805 \cdot \text{VAR 10} + 0,458503 \cdot \text{VAR 11} \end{aligned} \quad (6.7)$$

Os valores derivados a partir das expressões acima foram então calculados para cada um dos consumidores, desde o primeiro até o de número 420. Ressalte-se que o escore 1 está associado ao **fator privatista-liberal**, o escore 2 ao **potencial de conservação de energia**, e o escore 3 ao **fator visão social, política e ecológica da conservação**.

Tendo pois obtido os escores fatoriais a partir das relações funcionais estabelecidas nas equações (6.5) a (6.7), dispomos de todos os elementos necessários para a realização dos testes da hipóteses sugeridas no capítulo V, como será mostrado em sequência.

## 6.8 Teste das hipóteses

### 6.8.1 Teste da hipótese 1

Para este caso definiremos a seguinte hipótese nula:

$H_0$ : *O nível de escolaridade superior não influencia, por si só e de modo significativo, no potencial de conservação de energia.*



Para aceitar ou rejeitar esta hipótese nula, é adequado lançar mão da análise multivariada da variância (MANOVA), de modo a levar em conta os relacionamentos entre as variáveis envolvidas. A homogeneidade das variâncias, pressuposto deste modelo, foi testada e confirmada. Trabalhando com a variável *escore 2* como variável dependente e as variáveis *nível de escolaridade*, *nível de renda*, *nível de consumo* e *região* como variáveis independentes, foi possível elaborar a tabela 6.12, apresentada a seguir. Nesta tabela pode-se observar o nível de significância estatística (**p-level**) para os efeitos de todas as associações das variáveis independentes sobre a variável dependente.

Tabela 6.12 - Níveis de significância estatística para os efeitos das variáveis independentes (*escolaridade*, *renda*, *consumo* e *região*) sobre a variável dependente (*Escore 2*).

STAT. GENERAL MANOVA	Summary of all Effects; design: (global.sta) 1-N_ESC_, 2-N_REN, 3-REGIAO, 4-CONS_					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	.74625	404	5.048285	.147822	.700828
2	1	8.03621	404	5.048285	1.591870	.207787
3	1	4.24032	404	5.048285	.839953	.359957
4	1	.03457	404	5.048285	.006848	.934088
12	1	2.25080	404	5.048285	.445855	.504691
13	1	.78275	404	5.048285	.155053	.693960
23	1	6.99678	404	5.048285	1.385972	.239780
14	1	13.07035	404	5.048285	2.589066	.108385
24	1	.32617	404	5.048285	.064610	.799481
34	1	9.88316	404	5.048285	1.957725	.162524
123	1	10.91670	404	5.048285	2.162457	.142197
124	1*	33.86169*	404*	5.048285*	6.707562*	.009948*
134	1	1.20984	404	5.048285	.239654	.624722
234	1	4.41895	404	5.048285	.875336	.350041
1234	1	.94488	404	5.048285	.187169	.665514

Como pode ser observado nesta tabela, a variável *nível de escolaridade* (primeira linha da tabela), por si só, não exerce nenhum efeito significativo sobre a variável *escore 2*. O nível de significância estatística neste caso é de 0,700828, valor bastante superior ao nível de 0,05, estabelecido como referência. Este caso também está mostrado na figura 6.8 e na figura 6.9, onde pode-se notar a similaridade entre as duas distribuições de *nível de escolaridade*, não havendo diferenças significativas, do ponto de vista estatístico, entre ambas. Lembrar que para estas figuras e para as que se seguem, valem as abreviaturas e códigos, já estipulados nas páginas 130 e 131.

Pelo exposto anteriormente, não podemos rejeitar a hipótese nula, concluindo que não se pode afirmar que o *nível de escolaridade*, por si só, exerce efeito significativo sobre o potencial de conservação de energia elétrica. Neste sentido, podemos concluir que nossos resultados não corroboram aqueles obtidos em estudos realizados no exterior, notadamente nos EUA.

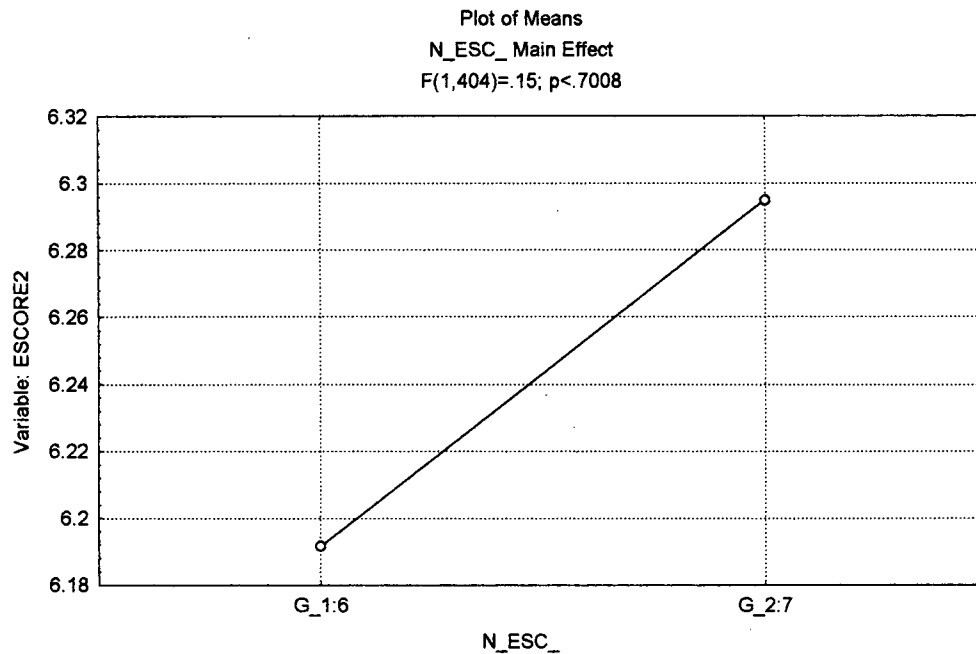


Fig. 6.8 - Comparação entre as médias dos níveis de escolaridade contra o escore 2, mostrando não existir diferença significativa entre ambas, do ponto de vista estatístico. O código 6 refere-se a consumidores com nível superior e o 7, nível não superior.

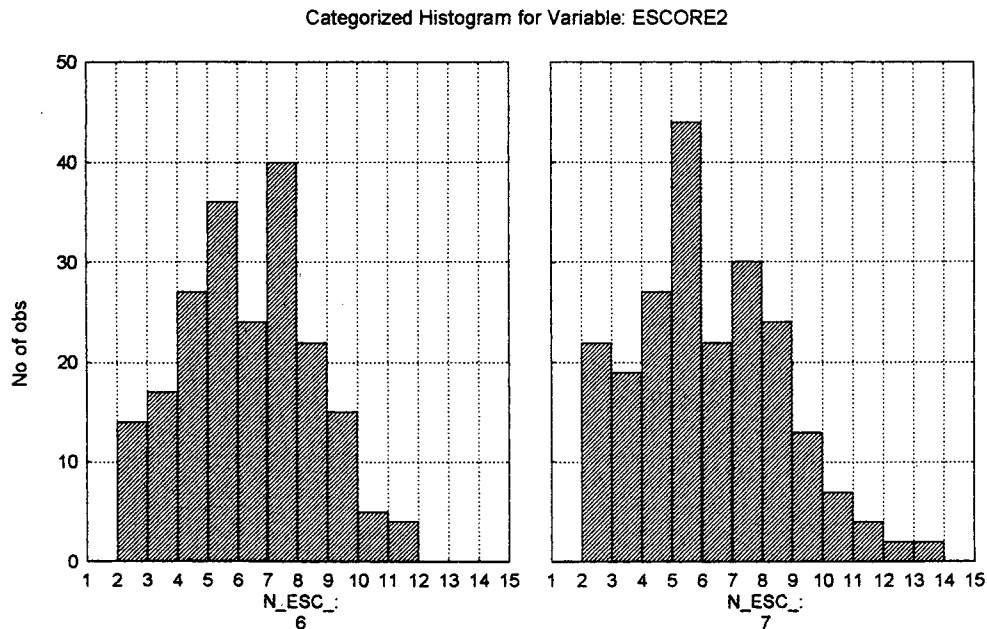


Fig. 6.9 - Histogramas das categorias de escolaridade para a variável escore 2, mostrando a similaridade entre as distribuições e acentuando que o aumento no nível de escolaridade não influi, de modo significativo, no potencial de conservação de energia.

### 6.8.2 Teste da hipótese 2

Para esta hipótese podemos definir a seguinte hipótese nula:

$H_0$ : O nível de renda não exerce influência significativa sobre o potencial de conservação de energia. Os consumidores com renda superior (acima de 20 salários-mínimo), não terão maior potencial de conservação de energia.

Para este caso e também usando a tabela 6.12, podemos observar que o efeito da variável nível de renda sobre a variável escore 2 não é significativo, situando-se em 0,207787, bastante superior aos 5% estipulados como referência. Nestes termos não podemos rejeitar a hipótese nula e não se pode afirmar que existe influência significativa do nível de renda, por si só, sobre o potencial de conservação de energia. A associação do nível de escolaridade com o nível de renda também não leva a resultados significativos, do ponto de vista estatístico, sobre o potencial de conservação de energia elétrica. Este caso está mostrado na figura 6.10.

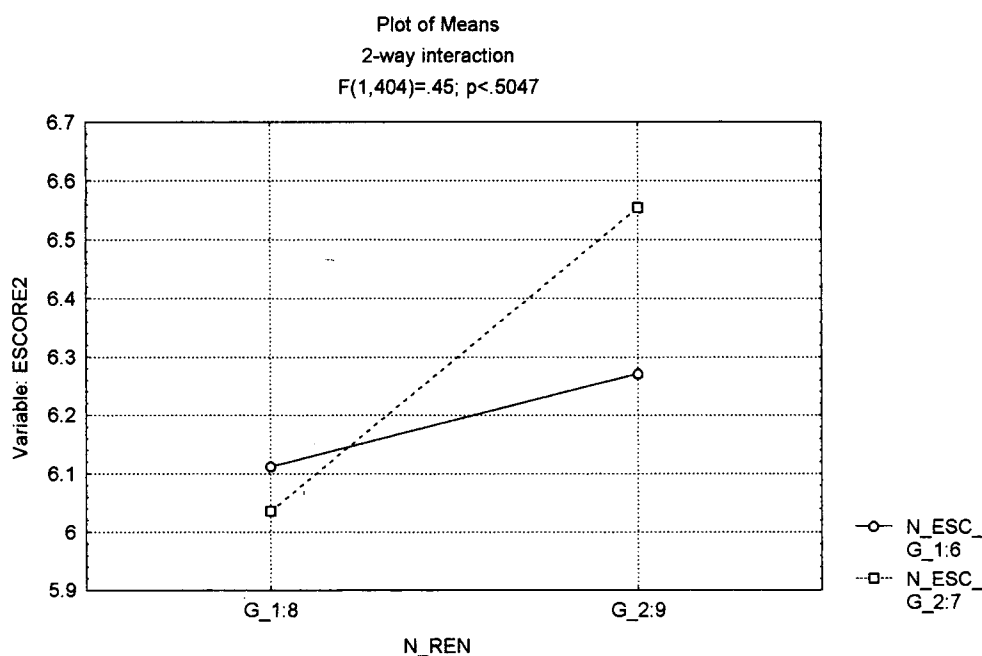


Fig. 6.10 - Comparação de médias, escore 2, para escolaridade e renda.

Como pode ser observado neste gráfico, o maior potencial de conservação de energia fica com os consumidores com renda superior (código 8), com o nível de escolaridade (código 6 ou 7) praticamente não importando. Já para os consumidores com menor renda, código 9, aqueles com nível de escolaridade superior (código 6) apresentam o maior potencial de conservação, embora os resultados não sejam significativos ao nível de 5%, representando apenas uma tendência.

### 6.8.3 Teste da hipótese 3

Para o teste da hipótese 3, como sugerida no capítulo V, podemos enunciar a seguinte hipótese nula:

$H_0$ : O nível de consumo das residências não exerce nenhum efeito significativo sobre o potencial de conservação de energia elétrica.

Como pode ser observado na tabela 6.12, o nível de consumo, por si só, não exerce um efeito significativo sobre a variável escore 2 e, portanto, sobre o potencial de conservação de energia elétrica, em desacordo com resultados obtidos nos EUA. O nível de consumo só é significativo quando associado ao nível de escolaridade e ao nível de renda.

O nível de significância para o efeito combinado destas três variáveis sobre o potencial de conservação foi de 0,009948, valor bastante significativo. Neste sentido, não se pode rejeitar a hipótese nula e concluir que somente a combinação do nível de escolaridade com o nível de renda e o nível de consumo, possui um efeito real e significativo sobre o potencial de conservação de energia elétrica. Uma análise mais apurada deste caso será feita a seguir, com o auxílio da figura 6.11

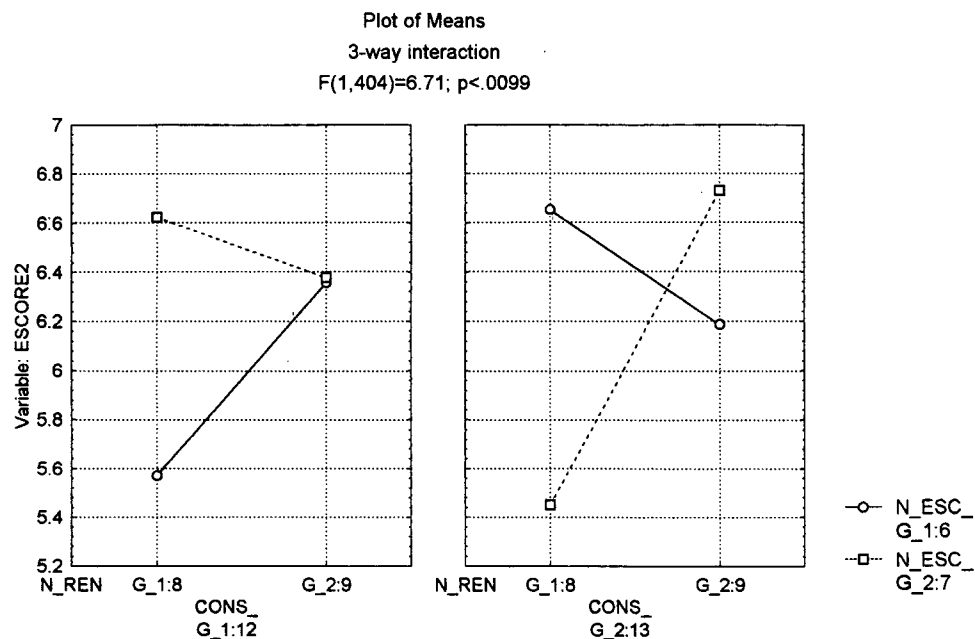


Fig. 6.11 - Comparação de médias, escore 2 (potencial de conservação), associação das variáveis nível de escolaridade, nível de renda e nível de consumo

Desta figura podemos extrair as seguintes informações:

1. No nível de consumo entre 200 e 500 kWh mensais e para consumidores de renda superior, aqueles com maior nível de escolaridade apresentam um maior potencial de conservação de energia elétrica. Para aqueles de renda inferior e consumo na faixa acima, o nível de escolaridade não influe no potencial de conservação, sendo este praticamente igual e independente do nível de escolaridade do consumidor.

2. Para o nível de consumo acima de 500 kWh mensais o maior potencial de conservação também se encontra entre os consumidores de maior renda, porém agora entre aqueles com escolaridade não superior, uma inversão em relação ao caso anterior. Para os consumidores de menos renda o nível de escolaridade superior possui o maior potencial de conservação.

**Em conclusão:** Para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh mensais, consumidores de renda superior e maior escolaridade apresentam maior potencial de conservação. Acima de 500 kWh os que possuem maior potencial são aqueles também com renda superior, porém com nível de escolaridade inferior. Em qualquer caso a renda superior é determinante.

#### 6.8.4 Teste da hipótese 4

No caso da hipótese 4, como apresentada no capítulo V, podemos definir a seguinte hipótese nula:

**$H_0$ :** *A região onde mora o consumidor não exerce nenhum efeito significativo sobre as questões políticas, sociais e ecológicas associadas à conservação da energia elétrica*

Neste caso, estaremos trabalhando com o fator visão social, política e ecológica da conservação e, portanto, deveremos lançar mão da variável escore 3, que quantifica este fator. Definindo esta variável como a variável dependente e as variáveis nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo e região como variáveis independentes, foi possível elaborar a tabela 6.13 com o auxílio da análise de variância multivariada.

Nesta tabela, pode-se observar que o nível de significância calculado para a variável região, variável 3 na tabela, é de 0,060989, valor ligeiramente superior ao adotado como referência, 0,05. Assim, não podemos rejeitar a hipótese nula, embora possamos afirmar que existe uma tendência bastante acentuada, bastante forte, no sentido de confirmar que os consumidores da região de Florianópolis- S. José, são de fato mais preocupados com as questões sociais, políticas e ecológicas ligadas a não conservação da energia elétrica, do que aqueles da região de Joinville-Blumenau.

As figuras 6.12 e 6.13 apresentam, respectivamente, a comparação das médias das regiões para este caso e os histogramas dos grupos, possibilitando as comparações entre as regiões.

Tabela 6.13-Níveis de significância estatística para os efeitos das variáveis independentes (escolaridade, renda, consumo e região) sobre a variável dependente (Escore 3).

STAT. GENERAL MANOVA	Summary of all Effects; design: (global.sta) 1-N_ESC_, 2-N_REN, 3-REGIAO, 4-CONS_					
Effect	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1*	21.61764*	404*	3.829207*	5.645460*	.017966*
2	1*	24.34509*	404*	3.829207*	6.357737*	.012071*
3	1	13.51692	404	3.829207	3.529953	.060989
4	1	2.69779	404	3.829207	.704530	.401762
12	1	4.07407	404	3.829207	1.063947	.302934
13	1	.05155	404	3.829207	.013461	.907692
23	1	2.01284	404	3.829207	.525654	.468859
14	1	.48061	404	3.829207	.125512	.723316
24	1	.32803	404	3.829207	.085664	.769914
34	1	10.30365	404	3.829207	2.690804	.101707
123	1	3.49951	404	3.829207	.913898	.339654
124	1	2.47484	404	3.829207	.646307	.421909
134	1	.58806	404	3.829207	.153572	.695352
234	1	5.75797	404	3.829207	1.503698	.220817
1234	1	.17244	404	3.829207	.045033	.832051

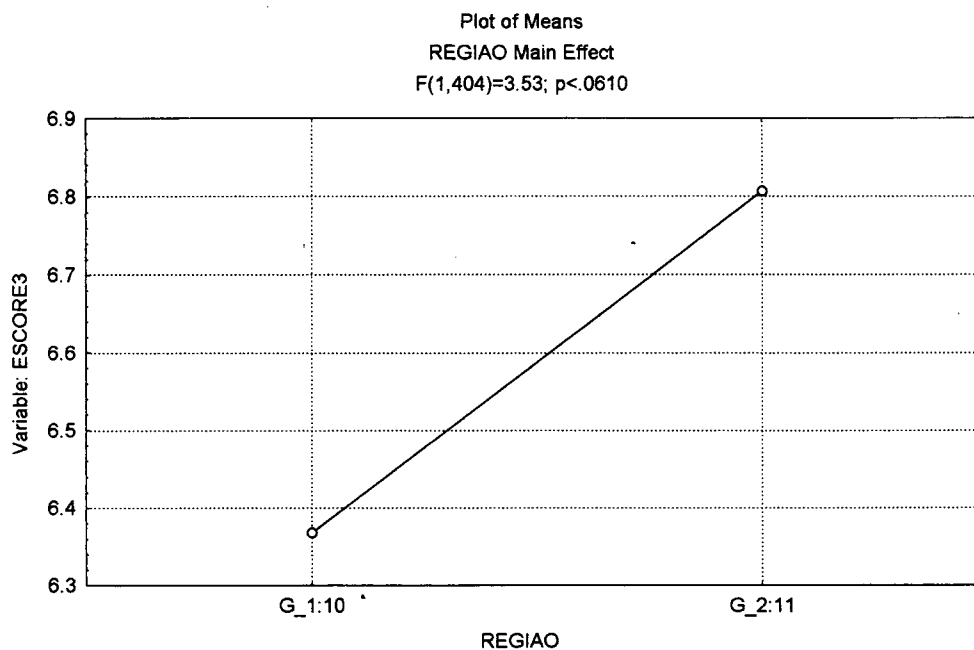


Fig. 6.12 - Comparação entre as médias do escore 3 nas regiões.

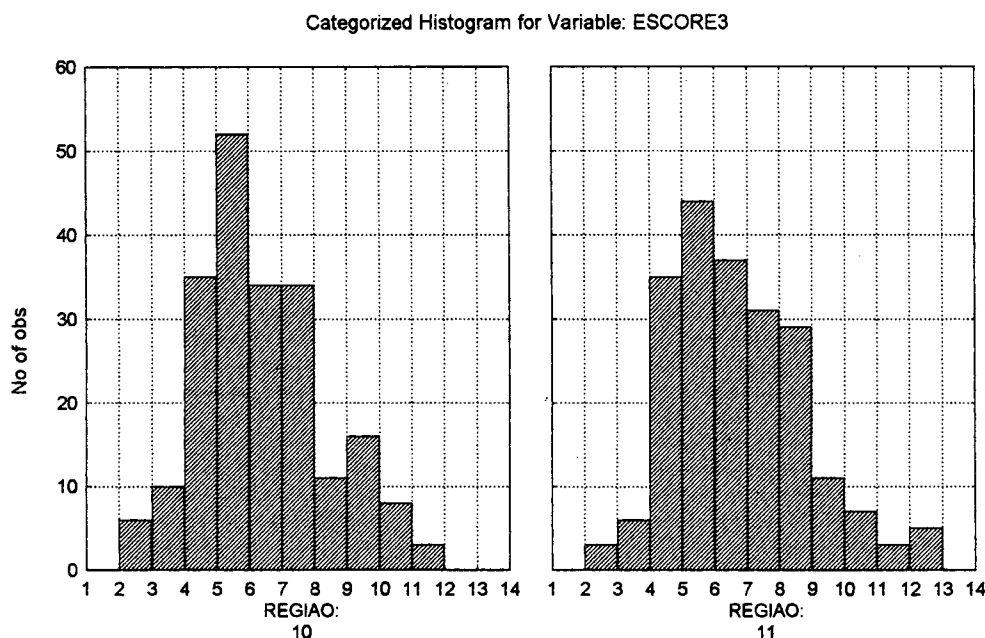


Fig. 6.13 - Histogramas das regiões 10 e 11 para o escore 3

Embora não tenham sido colocadas no capítulo V como hipóteses a serem testadas no caso específico do fator visão social, política e ecológica da conservação, pode-se observar na tabela 6.13 que as variáveis nível de escolaridade e nível de renda apresentam níveis de significância que se destacam no contexto geral, sendo as únicas a terem significado estatístico a nível de 5%, respectivamente 0,017966 para o nível de escolaridade e 0,012071 para o nível de renda.

Neste sentido, optamos por analisar estas duas variáveis, tendo por objetivo aproveitar a base de dados existente e examinar mais detalhadamente as influências do nível de escolaridade e do nível de renda sobre o escore 3, ou seja, sobre a visão social, política e ecológica associada a não conservação da energia elétrica.

Para este fim, foram elaboradas as figuras 6.14 e 6.15, apresentadas a seguir. Nestas figuras pode-se observar que o maior engajamento nas questões políticas, sociais e ecológicas ligadas ao setor elétrico, não parece estar mais associado à posse de uma escolaridade superior ou ainda a um maior nível de renda. Pelo contrário, os consumidores com menor nível de escolaridade e também menor nível de renda, aparecem aqui como aqueles mais engajados nestas questões, mostrando que um maior trabalho de informação e conscientização exercido pelos sindicatos e associações de classe parecem estar deslocando o eixo da questão.

De qualquer modo, não sendo objeto da nossa pesquisa, tal assunto seria mais apropriadamente estudado e examinado pelos cientistas sociais, pela formação e experiência neste tipo de questão que envolveria, provavelmente, entrevistas com tais consumidores de menor nível de renda e escolaridade não superior.

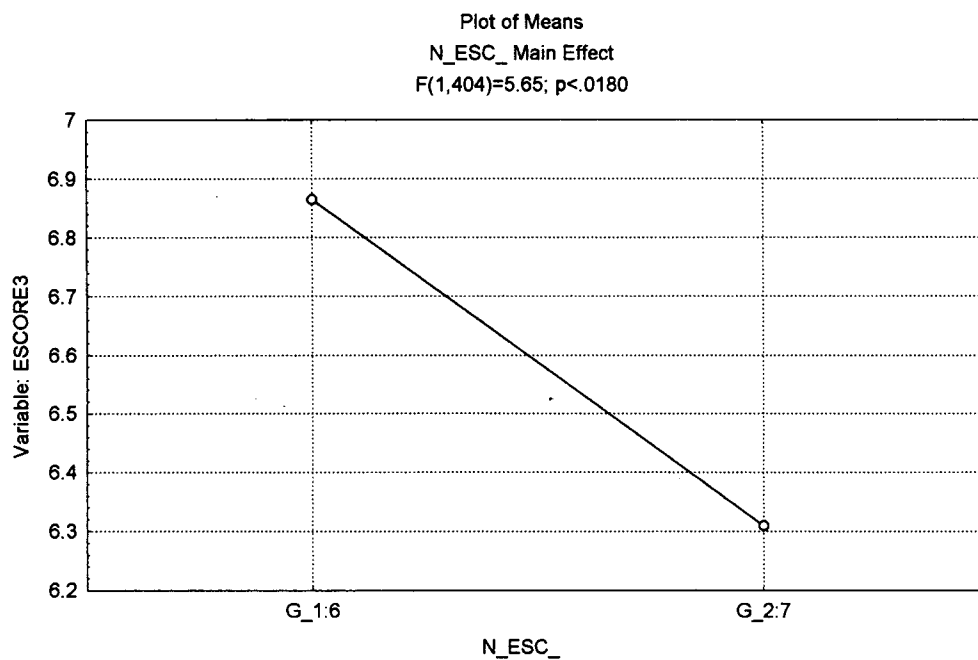


Fig. 6.14 - Comparação de médias do escore 3 nos níveis de escolaridade

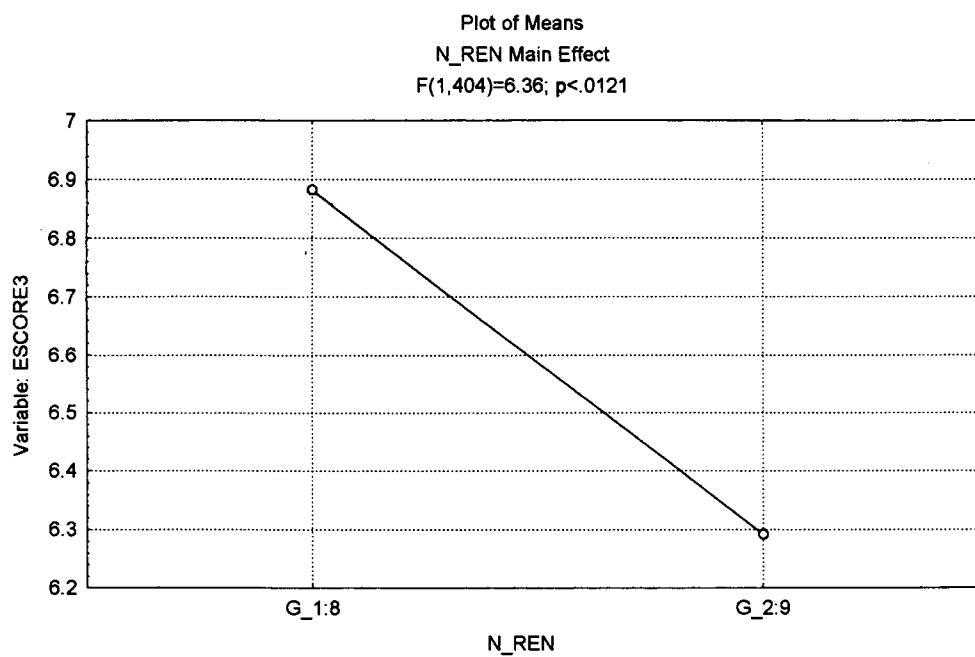


Fig. 6.15 - Comparação de médias do escore 3 nos níveis de renda.



### 6.8.5 Teste da hipótese 5

Neste caso, a hipótese nula poderá ser definida como:

$H_0$ : A região onde reside o consumidor não exerce nenhuma influência significativa sobre o potencial de conservação de energia elétrica.

Pelos dados da tabela 6.12 podemos verificar que o nível de significância estatística para a variável região é de 0,359957, bastante superior ao nível de referência adotado que é de 5%. Neste sentido, não podemos rejeitar a hipótese nula, e temos que admitir que não importa, em termos de potencial de conservação, a área onde reside o consumidor. No entanto, como tendência, é oportuno examinar a influência da região com o auxílio das figuras 6.15 e 6.16.

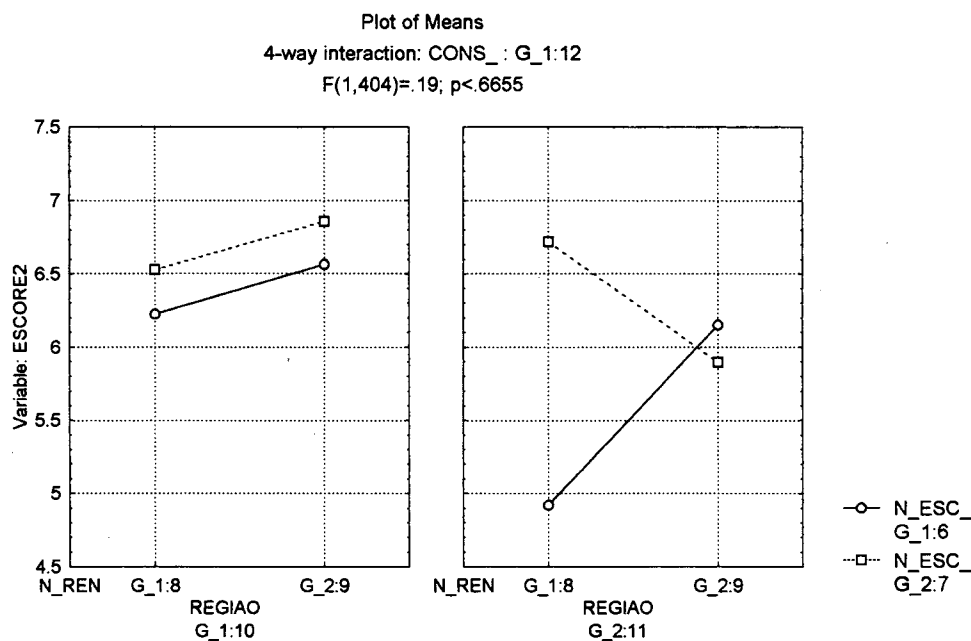


Fig. 6.15 - Comparação de médias do escore 2 (potencial de conservação) para a associação das variáveis nível de escolaridade, nível de renda, região e consumo de energia. Caso para consumo de 200 a 500 kWh mensais.

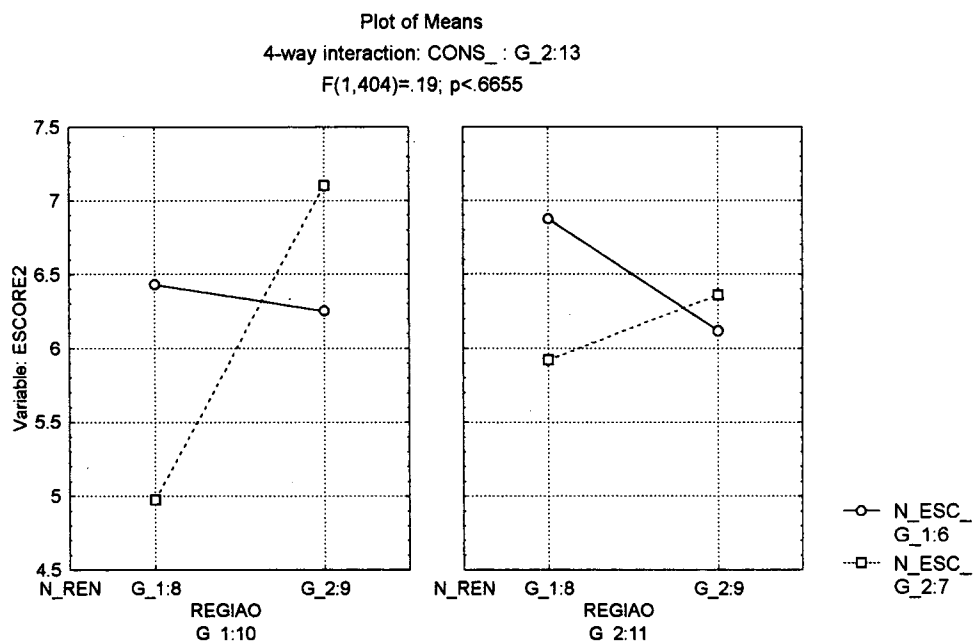


Fig. 6.16 - Comparação de médias do escore 2 (potencial de conservação) para a associação das variáveis nível de escolaridade, nível de renda, região e consumo. Caso para o consumo acima de 500 kWh.

Das figuras anteriores podemos extrair as seguintes conclusões:

1. Para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh mensais, a região de Joinville- Blumenau apresenta uma tendência para possuir um maior potencial de conservação de energia, sendo que o maior potencial possível encontra-se entre os consumidores de renda superior e escolaridade também superior.

2. Para a faixa de consumo acima de 500 kWh mensais, a região de Florianópolis- São José apresenta uma tendência para possuir um maior potencial de conservação de energia, sendo que o maior potencial possível encontra-se entre os consumidores de renda superior e escolaridade inferior.

3. A escolha de consumidores com renda superior mantém a hegemonia das regiões já mencionada, praticamente independentemente do nível de escolaridade, ou seja, para a faixa de 200 a 500 kWh escolher consumidores da região de Joinville- Blumenau, de renda superior, para o projeto piloto. Para consumo acima de 500 kWh escolher consumidores da área de Florianópolis- São José, também com renda superior.

No caso de não existir o cadastro de consumidores pelo nível de escolaridade e nível de renda, mas sim pela região e nível de consumo, a escolha de consumidores da região de Joinville- Blumenau para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh e da região de Florianópolis - São José para a faixa acima de 500 kWh, para comporem o projeto piloto, seria uma solução alternativa que não acarretaria maiores erros. Este fato pode ser observado na figura 6.17, a seguir.

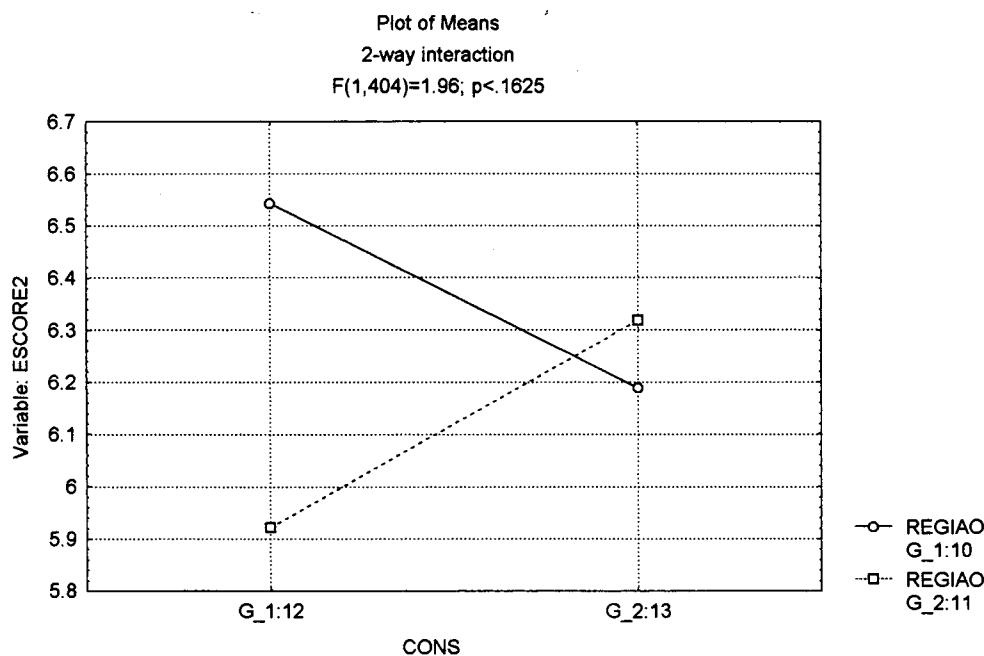


Fig. 6.17 - Comparação de médias do escore 2 (potencial de conservação) nas variáveis consumo e região.

Como pode ser observado no gráfico acima, para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh mensais, a região de Joinville- Blumenau possui o maior potencial de conservação de energia elétrica. Já para a faixa de consumo acima de 500 kWh mensais a região de Florianópolis- São José é quem possui tal potencial. Observar que, no entanto, o nível de significância estatística para o caso acima é de 0,162524 e assim só podemos estimar este resultado como uma tendência, comentário aliás que já havíamos ressaltado antes.

## 6.9 Resumo

No presente capítulo os dados recebidos foram coletados e tabulados de forma apropriada à realização da pesquisa. Estes dados foram categorizados por região, nível de consumo, nível de renda e nível de escolaridade dos respondentes. Também foram levantados da amostra a idade do respondente, o número de pessoas que moram na residência e o número de respondentes que possuem micro-computador, objetivando o estabelecimento de possíveis hipóteses adicionais. Este levantamento foi materializado em tabelas e também em gráficos.

A posse de micro-computadores também foi analisada quanto ao nível de escolaridade e nível de renda dos respondentes, tendo sido verificado que existe uma acentuada correlação entre o nível de escolaridade e a posse de micro-computador, o mesmo não ocorrendo com o nível de renda e posse de micro. A correlação entre o nível de escolaridade e a posse de micro-computador é estatisticamente significativa ao nível de 1%, ou 0,01. Como o nível de escolaridade já está contemplado em uma das hipóteses, a questão da posse de micro e o seu relacionamento, frente a atitude do consumidor em conservar energia, já estaria assim sendo examinada, não sendo necessária nenhuma hipótese adicional.

Foram explicitados os procedimentos necessários à realização dos testes das hipóteses e efetuados os estudos de análise fatorial para determinar o número de fatores mais adequado à pesquisa. Três fatores foram identificados: Fator privatista liberal, fator potencial de conservação e o fator visão social, política e econômica da conservação.

Partindo-se da matriz de carregamentos, tabela 6.8, foram identificadas as equações que possibilitam determinar os escores fatoriais, tendo por objetivo a posterior comparação entre os grupos de consumidores selecionados. Os escores fatoriais, associados aos três fatores já mencionados, permitiram a realização dos testes de significância estatística e assim, validar ou não, as hipóteses definidas no capítulo V.

A análise efetuada permitiu identificar o segmento de consumidores com o maior potencial de conservação de energia, de modo a sugerir à CELESC a implantação de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda no Estado de Santa Catarina. Os principais resultados obtidos nesta análise e as conclusões da pesquisa, serão apresentados, junto com um resumo geral do trabalho, no próximo capítulo.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSÕES DA PESQUISA**

#### **7.1 Resumo do trabalho**

As dificuldades enfrentadas pelo Estado brasileiro para financiar novos empreendimentos no setor de energia elétrica, aliadas aos crescentes movimentos sociais e ecológicos contra a construção de grandes obras de geração e transmissão de energia elétrica, tornam claro que a confiabilidade no fornecimento de energia elétrica vem se deteriorando paulatinamente. Ameaças de blecautes e de racionamentos tem sido noticiadas pela imprensa, principalmente pelos grandes jornais das regiões Sul e Sudeste. Várias medidas já estão sendo tomadas para evitar o colapso no abastecimento de energia nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste em virtude da falta de chuvas e do aumento do consumo.

Nas projeções de demanda efetuadas pela ELETROBRÁS não foram levados em conta os efeitos do Plano Real. Segundo esta empresa, as projeções de demanda no sistema elétrico estavam relacionadas à evolução do PIB e entraram em descompasso no ano passado, quando o País mostrou os primeiros resultados na estabilidade econômica (Diário Catarinense, 07/8/96, p. 14). Em 1995, o PIB cresceu 4,2%, enquanto a demanda de energia elétrica subiu para 7,6%. No ano de 1996 a diferença tende a se acentuar, visto que os dados parciais até o momento indicam crescimento de 5,7% na demanda contra um crescimento do PIB entre 2,5 e 3%.

Fica claro, assim, que novos caminhos tem que ser trilhados na questão energética, buscando incorporar ao planejamento do setor elétrico a nova realidade política, econômica e social

do País. Uma das novas possibilidades que se abrem para o planejamento do setor elétrico é o emprego do gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), buscando integrar efetivamente o consumidor no sentido de um uso mais eficiente dos recursos disponíveis. Para este fim, métodos e procedimentos devem ser elaborados para avaliar o comportamento e atitudes dos consumidores frente a problemática da conservação da energia.

Balizados por este objetivo, especificamente no segmento residencial, a presente pesquisa buscou criar uma metodologia que permitisse identificar o potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores residenciais em Santa Catarina. A identificação deste potencial permite que seja sugerido à concessionária local de energia elétrica, CELESC, a realização de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda, empregando, por exemplo, tarifas variáveis no tempo.

Levando em conta os resultados de estudos sobre atitudes de consumidores frente a conservação de energia, realizados no exterior e comentados no capítulo IV deste trabalho, algumas hipóteses foram definidas, relacionando tal atitude ao nível de escolaridade, nível de renda e nível de consumo de energia elétrica dos consumidores residenciais. Adicionalmente, buscou-se verificar se a região também influenciaria, de modo significativo, no comportamento do consumidor para conservar energia elétrica. A partir dos testes estatísticos destas hipóteses, poderia ser verificado se os resultados obtidos em nosso meio iriam confirmar, ou não, àqueles obtidos no exterior.

Para este fim, foi distribuído um questionário para 1000 (mil) consumidores nas cidades de Florianópolis, S. José, Blumenau e Joinville, em Santa Catarina, contendo itens relativos à economia de energia, impactos sociais e ecológicos de obras e a presença de Estado no setor elétrico, além de dados sócio-econômicos das famílias dos respondentes. Destes 1000 questionários enviados, cerca de 420 foram devolvidos e corretamente respondidos.

Estes questionários foram então tabulados e posteriormente analisados com o emprego da técnica de estatística multivariada chamada Análise Fatorial. Esta técnica busca identificar fatores comuns no posicionamento dos respondentes. Os consumidores foram categorizados segundo o nível de escolaridade, nível de renda, classe de consumo de energia elétrica e pela região onde moram. Foi assim possível verificar a existência de três fatores distintos:

- Fator privatista-liberal, identificando consumidores que não se preocupam com a economia de energia, favoráveis à iniciativa privada no setor elétrico e que defendem o lucro como parâmetro único para a realização de obras neste setor.

- Fator potencial de conservação, englobando consumidores que se preocupam com a economia de recursos de um modo geral, sensibilizados com a questão energética no futuro e dispostos a racionalizar o uso da energia elétrica para pagar menos conta de luz mensal.

- Fator político, social e ecológico, que identifica consumidores também preocupados com a conservação da energia, mas a motivação aqui é mais social e ecológica do que econômica. Defendem subsídios aos mais pobres e são a favor da presença do Estado no setor.

A partir da identificação destes fatores, foram estabelecidas as relações funcionais entre cada fator e as variáveis (itens) envolvidas na determinação dos mesmos, buscando estabelecer os escores fatoriais e a posterior identificação das variáveis categóricas que são significativas para cada um dos fatores. Em sequência, foram realizados os testes das hipóteses definidas anteriormente. Para tal, foi feito uso da análise multivariada de variância, MANOVA, onde os escores fatoriais seriam as variáveis dependentes e as variáveis nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo e região, as variáveis independentes.

Pode-se assim, identificar o segmento de consumidores com o maior potencial de conservação de energia, dentre os pesquisados, para que se possa sugerir à concessionária de energia elétrica local a realização de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda empregando, por exemplo, tarifação variada ao longo do dia e permitindo a posterior instalação de projetos similares em outros pontos do Estado e do Brasil.

## 7.2 Conclusões da pesquisa

Baseados na análise dos dados e nos comentários efetuados no capítulo anterior, podemos enumerar as seguintes conclusões para a presente pesquisa:

1. As dificuldades de investimentos no setor elétrico por parte do Estado, aliadas aos crescentes movimentos sociais e ecológicos contra a construção de obras de geração e transmissão de energia elétrica, impõem um novo modelo para o setor elétrico brasileiro. Este novo modelo deverá estar adequado à nova realidade econômica, política e social do País, onde questões como educação, saúde, saneamento básico e segurança disputam os escassos recursos com estradas, energia elétrica e telecomunicações, entre outros setores.

Com o advento do Plano Real, e as consequentes facilidades para compra de eletrodomésticos propiciadas pelo controle da inflação, a demanda de energia elétrica tem crescido em nível muito maior do que o PIB da nação, acarretando uma explosão de consumo que tem deteriorado paulatinamente a confiabilidade do abastecimento de energia elétrica no País. Urge que se tomem medidas de curto prazo para minimizar o risco de racionamentos e de blecautes e *entre estas medidas a mais eficaz é o gerenciamento pelo lado da demanda, possível de ser implantada em curto espaço de tempo e com um mínimo de recursos, até que se tenha fôlego para novos investimentos no setor.*

2. A implantação de um programa de gerenciamento pelo lado da demanda *deve ser precedida de estudos de modo a identificar o potencial de conservação de energia elétrica dos consumidores*. A identificação deste potencial de conservação de energia elétrica, para fins de implantação futura de um programa de GLD, não é tarefa fácil. A concessionária busca a otimização dos resultados a serem obtidos, procurando moldar a curva de carga de acordo com as suas necessidades. Existem três abordagens possíveis ao problema:

a) Pela transferência dos resultados obtidos em programas similares implantados em outras concessionárias ou mesmo em outras áreas de uma mesma empresa.

b) Pela implantação de um projeto piloto, onde o potencial de conservação será aferido diretamente a partir de medições efetuadas sobre a curva de carga do sistema.

c) Pela identificação, através de pesquisa de mercado, do potencial de conservação, ou seja, dos segmentos de consumidores mais adequados para garantir o sucesso do programa de GLD, em função de variáveis já explicitadas em levantamentos feitos por outras empresas, principalmente no exterior, e relatadas nos capítulos III e IV.

No caso específico do Brasil, onde não existe experiência quanto ao uso de programas de GLD no segmento residencial, parece-nos bastante errôneo o uso de dados advindos de programas aplicados em outros países sem a necessária cautela e as adaptações face às diferentes realidades. Tais dados estariam alicerçados em condições distintas da nossa, tanto no tocante ao clima como nas características demográficas, valores culturais, tipos de regulação, níveis de preços e de rendas, etc.

De modo a aproveitar a experiência de outras empresas, as características da concessionária e/ou do programa de GLD a ser proposto deverão ser similares àquelas de onde virão as informações. Condições como a estrutura tarifária, base de consumidores e informações sobre a curva de carga não são, geralmente, fornecidas ao se apresentarem resultados oriundos de outras concessionárias, o que, certamente, coloca em risco a eficácia da transferência dos dados. Além disto, em razão dos programas de GLD serem ainda instrumentos de estratégia em um mercado altamente competitivo, muitos dados experimentais são confidenciais e assim, não publicados.

Não entendemos portanto, como adequada, a metodologia de identificação do potencial de conservação mediante o simples expediente de transferência de dados, embora reconhecendo o valor da experiência alheia no nosso processo de aprendizagem, como mostrado no capítulo IV.

Defendemos, no caso brasileiro, *a adoção de um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda, com participação voluntária dos consumidores*. Tal projeto, no entanto, deverá ser precedido pela avaliação e identificação do potencial de mercado, de modo a otimizar o sucesso do empreendimento e minimizar os riscos de investimentos que se farão necessários na



implantação do projeto piloto. Entre estes investimentos destacam-se a instalação de medidores especiais, empregando tecnologia mais sofisticada e na base de microprocessadores, com as respectivas cablagens e proteções, além, evidentemente, dos gastos com treinamento de pessoal. *Recomendamos, assim, o uso combinado das alternativas b e c, explicitadas anteriormente.*

3. A identificação do segmento de consumidores mais adequado para compor o projeto piloto, mencionado no item anterior, deverá estar relacionada com variáveis categóricas associadas à atitude do consumidor em conservar energia elétrica. A revisão da literatura efetuada nos capítulos III e IV e a nossa própria experiência de trabalho no setor elétrico brasileiro, *leva-nos a sugerir que o nível de escolaridade dos consumidores, o nível de renda familiar, o nível de consumo residencial de energia elétrica e a formação cultural da área onde reside o consumidor, estarão associados à problemática da conservação da energia elétrica.*

4. O emprego da análise fatorial na metodologia permitiu a identificação dos fatores associados à questão da conservação da energia e, através dos correspondentes escores fatoriais, determinar a significância estatística do relacionamento entre estes fatores e as variáveis nível de escolaridade, nível de renda, nível de consumo e região. O caso com três fatores foi julgado o mais adequado para a pesquisa e os fatores explicitados foram os seguintes:

- Fator 1 - Compreende as variáveis 7 e 8, da tabela 6.8, do capítulo VI, com carregamentos bastantes acentuados e com sinal negativo, indicando um posicionamento contrário ao construto subjacente. Neste sentido, este fator estaria associado a um posicionamento a favor da iniciativa privada, apologista da construção de novas usinas na medida em que o mercado delas necessite, e não preocupado com a economia da energia e os recursos daí advindos, recursos estes que poderiam ser utilizados em outras áreas carentes de investimentos no Brasil. Chamaremos este fator de **privatista-liberal**.

- Fator 2 - Compreende as variáveis 1, 3, 12, 13 e 14 da tabela 6.8, do capítulo VI. Engloba um posicionamento favorável à economia de recursos de um modo geral, preocupado a nível pessoal em poupar energia e também em pagar uma conta de luz mais baixa no fim do mês. Defende uma utilização mais racional da energia elétrica, mesmo tendo que sacrificar seu padrão de vida e conforto. Chamaremos este fator de **potencial de conservação**.

- Fator 3 - Compreende as variáveis 5, 6, 9, 10 e 11 da tabela 6.8, do capítulo VI. Indica também uma preocupação com a conservação de energia, mas aqui o pano de fundo é a motivação social e ecológica. A presença do Estado no setor elétrico é vista como necessária para que este setor seja controlado e assim permitir que segmentos mais carentes da população também tenham acesso aos benefícios da energia elétrica. Chamaremos este fator de **visão social, política e ecológica da conservação**.

5. *No caso da presente pesquisa, as simulações efetuadas não mostraram nenhum efeito significativo do nível de escolaridade sobre o potencial de conservação de energia elétrica.*

Como pode ser observado na tabela 6.12, do capítulo VI, a variável nível de escolaridade (primeira linha da tabela), por si só, não exerce nenhum efeito significativo sobre a variável escore 2, ou seja, sobre o potencial de conservação de energia.

O nível de significância estatística neste caso é de 0,700828, valor bastante superior ao nível de 0,05, estabelecido como referência. Este caso também está mostrado na figura 6.8 e na figura 6.9, capítulo VI, onde pode-se notar a similaridade entre as duas distribuições de nível de escolaridade, superior e não superior, não havendo diferenças significativas, do ponto de vista estatístico, entre ambas. Lembrar que para estas figuras o código 6 corresponde a nível de escolaridade superior e o código 7 a nível de escolaridade não superior.

No capítulo VI, havíamos definido a hipótese nula: *O grau de escolaridade não influencia, por si só e de modo significativo, no potencial de conservação de energia.* Pelo exposto anteriormente, não podemos rejeitar a hipótese nula, concluindo que o nível de escolaridade, por si só, não exerce nenhum efeito significativo sobre o potencial de conservação de energia elétrica. Neste sentido, *podemos concluir que nossos resultados não corroboram àqueles obtidos em trabalhos já citados no capítulo IV e realizados nos Estados Unidos da América.* À guisa de facilitar a compreensão do exposto anteriormente, recapitulemos os pontos principais destes trabalhos.

As dificuldades de impor um programa de gerenciamento pelo lado da demanda de natureza mandatória, levou a empresa americana Pacific Gas and Electric Company (PG & E) a realizar um projeto piloto de adesão voluntária, em 1984. Os objetivos deste projeto, que envolveu cerca de 5000 consumidores residenciais, eram compreender os motivos que levavam os consumidores a aderir voluntariamente ao programa, a efetividade da resposta destes às tarifas variáveis no tempo e o alcance das medidas de conscientização dos consumidores promovidas pela concessionária PG & E (Keane e Goett, 1988).

Entre outros resultados deste projeto, que durou dois anos, a experiência da PG & E mostrou que a educação e a renda familiar são fatores importantes no que concerne à participação em programas de GLD de adesão voluntária. Residências de maior porte, com poucas pessoas, pequeno número de crianças, *com o chefe da casa com maior nível de escolaridade* e de mais idade, são as mais propensas a participarem voluntariamente do programa proposto.

*A renda familiar, vista de modo isolado*, tem um efeito positivo na probabilidade de participação, embora isto aparente estar correlacionado com o tamanho da residência e *o nível de escolaridade do chefe da casa.*

Dorothy Leonard-Barton (1981), em um trabalho sobre conservação de energia e sua associação a um estilo de vida voluntariamente mais simples, observa que pessoas de posse que adotam, por vontade própria, um estilo de vida mais frugal, tendem a conservar energia e manifestar interesse em pelo menos uma tecnologia de energia alternativa. O trabalho também mostra

que este tipo de comportamento está significativamente relacionado ao nível de escolaridade da pessoa, sendo o nível de significância estatística  $p < 0,001$  ou 0,1%.

6. Na presente pesquisa, *as simulações efetuadas não mostraram nenhum efeito significativo do nível de renda familiar sobre o potencial de conservação de energia elétrica*. Como pode ser observado na tabela 6.12, do capítulo VI, a variável nível de renda (segunda linha da tabela), por si só, não exerce nenhum efeito significativo sobre a variável escore 2, ou seja, sobre o potencial de conservação de energia.

O nível de significância estatística neste caso é de 0,207787, valor bastante superior ao nível de 0,05, estabelecido como referência, embora aqui exista uma tendência bem mais acentuada do que no caso anterior, nível de escolaridade.

No capítulo VI, havíamos definido para este caso a seguinte hipótese nula: *O nível de renda, por si só, não exerce influência significativa sobre o potencial de conservação de energia. Os consumidores com renda superior (acima de 20 salários-mínimo), não terão maior potencial de conservação de energia*. Nestes termos, não podemos rejeitar a hipótese nula, concluindo que, no nosso caso, não existe influência significativa do nível de renda, por si só, sobre o potencial de conservação de energia.

A associação do nível de escolaridade com o nível de renda também não leva a resultados significativos, do ponto de vista estatístico, sobre o potencial de conservação de energia elétrica, *também em desacordo com os trabalhos citados anteriormente*. O nível de significância estatística, neste caso, é de 0,504691, na quinta linha da tabela 6.12, no capítulo VI. Este caso está mostrado na figura 6.10, também no capítulo VI. Como pode ser observado neste gráfico, o maior potencial de conservação de energia fica com os consumidores com renda superior (código 8), com o nível de escolaridade (código 6 ou 7) praticamente não importando. Já para os consumidores com menor renda, código 9, aqueles com nível de escolaridade superior (código 6) apresentam o maior potencial de conservação, embora os resultados não sejam significativos à nível de 5%, representando apenas uma tendência. A associação do nível de renda com o nível de consumo, por outro lado, também não é significativa quanto ao potencial de conservação de energia (o nível de significância  $p < 0,7994$ ), tabela 6.12, e assim, *nossos resultados não corroboram àqueles obtidos nos EUA*. Os parágrafos que se seguem esclarecem melhor esta observação.

Um trabalho bastante interessante foi realizado por Sutherland (1994), nos EUA. Nesta pesquisa, empregando dados de um levantamento sobre consumo de energia residencial efetuado em 1990 pela Administração de Informações sobre Energia, o autor conclui que os abatimentos fornecidos pelas concessionárias, auditorias de energia, programas de gerenciamento de cargas e outras medidas de conservação, *tendem a ser adotados em maior frequência pelas residências com um maior nível de renda*. Neste sentido, as residências com maior estoque de equipamentos e com níveis de consumo mais altos tenderiam a apoiar, mais intensamente, os programas de conservação de energia.

Tienda e Aborampah (1981), de modo análogo, mostram que só as residências com maior poder aquisitivo conseguem implementar, no curto prazo, as reformas sugeridas pelas concessionárias no intuito de tornar a casa mais apta a conservar energia. As famílias de menor renda não conseguem investir na reforma da residência, mesmo quando existem incentivos por parte da concessionária, visto que os pagamentos dos incentivos não compensam integralmente as reduções no consumo, pelo menos no curto prazo.

7. No caso da presente pesquisa, os consumidores foram divididos em dois segmentos, aqueles que gastavam entre 200 e 500 kWh / mês de energia elétrica e aqueles que tinham consumo acima deste último valor. No capítulo VI já havíamos definido a seguinte hipótese nula: *O nível de consumo das residências não exerce nenhum efeito significativo sobre o potencial de conservação de energia elétrica*. Observando, assim, a tabela 6.12 do capítulo VI, podemos concluir que o nível de consumo (quarta linha da tabela), por si só, não exerce nenhuma influência significativa sobre o potencial de conservação de energia. O nível de significância estatística neste caso é de 0,934088, bastante superior ao nível de referência de 5%. Neste sentido, não podemos rejeitar a hipótese nula.

No projeto piloto empreendido pela PG & E já citado anteriormente, o alvo do experimento foi aquele consumidor com um gasto médio, nos últimos doze meses anteriores ao início da pesquisa, de 800 kWh por mês de energia elétrica. Uma amostra aleatória de consumidores com tais características foi sorteada e eles foram recrutados, para participarem do projeto, por meio de correspondência via mala direta. *Admitia-se, portanto, que residências com maior nível de consumo iriam contribuir, de modo mais eficaz, para o sucesso do programa de conservação de energia*. De acordo com o exposto no parágrafo anterior, não podemos esposar a tese da empresa americana.

8. A escolha da região, por si só, não é significativa no que tange ao potencial de conservação de energia. Isto pode ser observado na terceira linha da tabela 6.12, no capítulo VI. Neste caso o nível de significância estatística é de 36%. Como se percebe, não existe, do ponto de vista estatístico, nenhuma supremacia da região de Joinville-Blumenau (cultura germânica) sobre a região de Florianópolis-São José (cultura açoriana), no que diz respeito ao potencial de conservação de energia elétrica.

No capítulo VI definimos, para este caso, a seguinte hipótese nula: *A região onde reside o consumidor não exerce nenhuma influência significativa sobre o potencial de conservação de energia elétrica*. De acordo com os nossos resultados não podemos, pois, rejeitar a hipótese nula. Neste sentido, *a região de Joinville-Blumenau não é mais apropriada que a escolha de Florianópolis-S. José para fazer parte do projeto-piloto*.

9. Por outro lado, a associação das variáveis nível de escolaridade, nível de renda e nível de consumo, exerce um efeito bastante significativo sobre o potencial de conservação, com um nível de significância da ordem de 0,009948 (tabela 6.12). Uma análise mais apurada deste caso

foi feita com o auxílio da figura 6.11, do capítulo VI. Com o auxílio desta figura podemos concluir que:

a) No nível de consumo entre 200 e 500 kWh mensais e para consumidores de renda superior, aqueles com maior nível de escolaridade apresentam um maior potencial de conservação de energia elétrica. Para aqueles de renda inferior e consumo na faixa acima, o nível de escolaridade não influe no potencial de conservação, sendo este praticamente igual e independentemente do nível de escolaridade do consumidor.

b) Para o nível de consumo acima de 500 kWh mensais o maior potencial de conservação também se encontra entre os consumidores de maior renda, porém agora entre aqueles com escolaridade não superior, uma inversão em relação ao caso anterior. Para os consumidores de menos renda o nível de escolaridade superior possui o maior potencial de conservação.

10. O efeito combinado de todas as variáveis independentes não é significativo, mostrando que devemos concluir que a escolha da região, associada as outras três variáveis, não exerce influência significativa sobre o potencial de conservação de energia elétrica. O nível de significância estatística neste caso pode ser visto na última linha da tabela 6.12, capítulo VI, sendo da ordem de 66,5%.

11. No que diz respeito ao fator visão social, política e ecológica da conservação, existe uma tendência, bastante acentuada, no sentido de que os consumidores da região 1, Florianópolis-São José, em grande parte funcionários públicos, efetivamente estão mais ligados nas questões políticas, sociais e ecológicas associadas à problemática da conservação de energia, do que aqueles da região 2, Joinville-Blumenau. Este caso pode ser visto na terceira linha da tabela 6.13, no capítulo VI. O nível de significância estatística encontrado foi de 6,09%, ligeiramente superior à referência estabelecida, de 5%, indicando, portanto, uma forte tendência. Cabe aqui mencionar que *tal resultado corrobora estudos realizados nos EUA* (Henion II, 1981), onde o perfil liberal corresponde ao nosso perfil estatizante.

Ainda em relação a este fator, embora não seja objeto de nossa pesquisa, pode-se observar (figuras 6.14 e 6.15) que o maior engajamento nas questões políticas, sociais e ecológicas ligadas ao setor elétrico, *não parece estar mais associado à posse de uma escolaridade superior ou ainda a um maior nível de renda*. Pelo contrário, os consumidores com menor nível de escolaridade e também menor nível de renda, aparecem aqui, de modo significativo, como aqueles mais engajados nestas questões. Provavelmente um maior trabalho de informação e conscientização exercido pelos sindicatos e associações de classe parecem estar deslocando o eixo da questão. Entendemos que este assunto merece ser estudado mais apropriadamente pelos cientistas sociais.

12. Mencionamos, no item 9, que para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh mensais, consumidores de renda superior e maior escolaridade apresentam maior potencial de conserva-

ção. Acima de 500 kWh os que possuem maior potencial são aqueles também com renda superior, porém com nível de escolaridade inferior. Em qualquer caso a renda superior é determinante, *e consumidores com tais características seriam os indicados para o projeto piloto mencionado anteriormente.*

13. Por ocasião da seleção dos consumidores que irão participar do projeto piloto, a concessionária deverá cadastrar seus clientes pelo nível de escolaridade, nível de renda e nível de consumo, para efeito de aplicação da recomendação feita no item anterior. Caso a empresa resolva optar pelo uso do cadastro já existente para cobrança das contas de luz, com as residências selecionadas pela região e nível de consumo, *a escolha de consumidores da região de Joinville-Blumenau para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh/mês e da região de Florianópolis - São José para a faixa acima de 500 kWh/mês, para comporem o projeto piloto, seria uma solução alternativa.*

Este procedimento está baseado na figura 6.17, capítulo VI. Como pode ser observado no gráfico mencionado, para a faixa de consumo de 200 a 500 kWh mensais, a região de Joinville-Blumenau possui o maior potencial de conservação de energia elétrica. Já para a faixa de consumo acima de 500 kWh mensais a região de Florianópolis- São José é quem possui tal potencial. Observar que, no entanto, o nível de significância estatística para o caso acima é de 0,162524, tabela 6.12, e assim só podemos estimar este resultado como uma tendência, comentário aliás que já havíamos ressaltado no decorrer da análise.

14. A realização de pesquisas que envolvam levantamentos de campo, a partir de questionários enviados aos consumidores pelo correio, é viável e também efetiva. O emprego da metodologia proposta por Dillman (1978) permite aumentar o número de respondentes, como atestam os 45% de questionários devolvidos no presente trabalho.

15. Os consumidores se mostraram interessados no tema da pesquisa e ficaram bastante satisfeitos em colaborar, mostrando que a sociedade, cada vez mais, está atenta às grandes questões nacionais e mais do que nunca interessada em participar e opinar em tudo aquilo que lhe diz respeito. Existe, portanto, um amplo espaço para a atuação da universidade e dos poderes públicos no sentido de identificar as reais necessidades da população e trabalhar de modo eficiente para atendê-las. Neste sentido, a metodologia desenvolvida na presente pesquisa pode ser de grande valia.

### 7.3 Recomendações

1. Recomendamos que as aplicações de programas de gerenciamento pelo lado da demanda, no segmento residencial, devam ser precedidas de levantamentos de campo para verificar o grau do potencial de conservação de energia da população.

2. Uma vez identificado o segmento de consumidores com o maior de potencial de conservação de energia, implementar um projeto piloto de gerenciamento pelo lado da demanda, de natureza voluntária, objetivando adquirir experiência técnica e administrativa para expandir o programa para outros consumidores da empresa.

3. Recomendamos que as empresas de energia elétrica aperfeiçoem o cadastro dos seus consumidores residenciais. Este cadastro deverá conter, além da região onde mora o consumidor e do nível de consumo do mesmo, dados como o nível de renda familiar, grau de escolaridade do chefe da família, tamanho da residência, número de pessoas na residência e outros que a empresa julgue necessários para melhor planejar seus programas de gerenciamento pelo lado da demanda.

4. No caso da CELESC, entendemos que a empresa, além dos investimentos que vem fazendo na área da oferta de energia elétrica, deveria ganhar experiência técnica e administrativa no que tange a implantação de programas de GLD que se farão necessários no futuro. Neste sentido, um projeto piloto de GLD empregando tarifas variáveis no tempo seria de extrema utilidade. Caso a empresa faça tal opção, recomendamos que consumidores de Blumenau-Joinville (faixa de consumo de 200 a 500 kWh/mês) e Florianópolis-São José (faixa acima de 500 kWh/mês) sejam os escolhidos para participarem do projeto.

5. Na presente pesquisa associamos o potencial de conservação de energia às variáveis nível de escolaridade, nível de renda, região e consumo. Novos estudos são necessários para verificar que outras variáveis estariam ligadas ao potencial de conservação. Adicionalmente, também deveria ser verificado se as variáveis citadas anteriormente seriam as mais adequadas para analisar outros segmentos de consumidores, como por exemplo, o consumidor rural.

6. A metodologia desenvolvida no trabalho deverá ser adaptada e expandida para outras categorias de consumidores. Em especial, pelo crescimento e importância para a economia, recomendamos que se dê prioridade em verificar a aplicação desta metodologia aos micro-empresários.

## **APÊNDICE I**

### **GLOSSÁRIO**

#### **AI.1 Introdução**

Tendo por objetivo facilitar a leitura do texto para pessoas que não estão familiarizadas com a área de sistemas elétricos de potência mas com interesse em compreender, e até mesmo estender a metodologia aqui desenvolvida para outras aplicações, apresentamos neste apêndice uma série de conceitos e definições que visam propiciar ao leitor uma melhor compreensão do material apresentado no presente trabalho.

#### **AI.2 Apresentação dos conceitos e definições**

##### Energia :

Segundo nos ensina a Física clássica, energia é a capacidade de realizar trabalho. Uma força atuando sobre um objeto irá deslocá-lo a uma certa distância; o produto desta força, atuando na direção do deslocamento, pela distância é o que se define como trabalho. Assim, uma força de 1 newton deslocando um objeto à distância de 1 metro, produzirá o trabalho de 1 joule .

Embora existam inúmeras fontes de energia à disposição do homem, na área de energia elétrica interessa-nos mais as chamadas fontes convencionais, ou seja, aquelas com tecnologias já dominadas a custos aceitáveis. Neste sentido, a produção de energia elétrica em escala comercial é baseada, hoje em dia, na energia hidráulica, na energia térmica oriunda de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e na energia nuclear.



### Potência :

Potência é a quantidade de energia produzida por unidade de tempo. A energia de 1 joule por segundo é chamada de 1 watt (1 w). Um quilowatt (1 kW) é equivalente a 1000 watts e um megawatt (1 MW) vale um milhão de watts ou 1000 kW.

A energia produzida por 1 kW de potência em 1 hora é igual a 1 kWh e vale  $1000 \times 3600$ , ou seja, 3,6 milhões de joules. Uma lâmpada de 100 W, se acesa continuamente por todo um mês, consumirá uma energia de  $100 \times 24 \times 30 = 72 \text{ kWh}$  ou  $2,6 \times 10^8$  joules.

### Curva de carga :

O suprimento de energia elétrica deve obedecer às características de consumo de determinado grupo de consumidores (centro de carga), procurando atender a tal grupo de forma confiável e econômica.

O comportamento individual de milhares de consumidores de um sistema elétrico de potência é imprevisível, altamente diferenciado e aleatório em essência. No entanto, o comportamento de um grupo de consumidores é estatisticamente previsível e fornece à concessionária de energia elétrica subsídios valiosos para implantar novas instalações. As características de consumo de determinado centro de carga podem ser representadas graficamente por meio de uma curva, a chamada curva de carga, figura AI.1. Pode-se inferir desta figura a existência de períodos diferenciados de consumo: carga pesada, intermediária e leve.

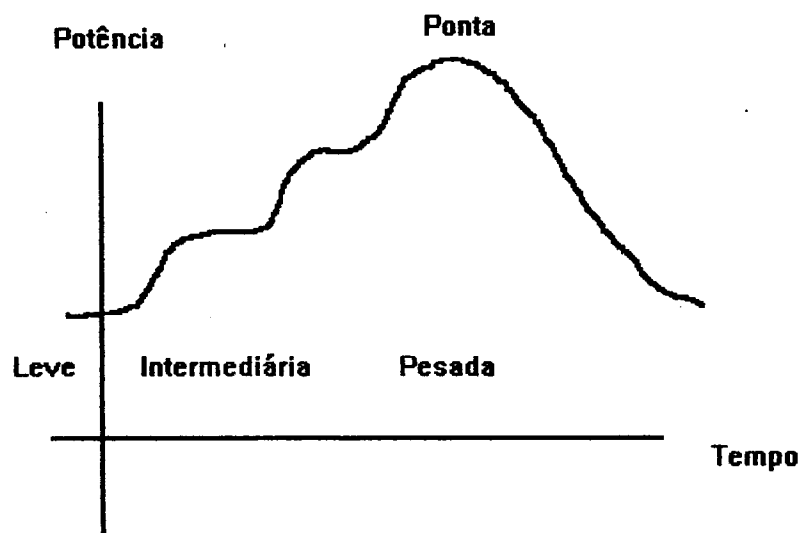


Fig. AI.1 Curva de carga

Curva de duração de carga :

Uma outra curva bastante empregada em sistemas elétricos de potência é a curva de duração de carga, fig. AI.2. Ela mede o período de tempo, na abcissa, em que o consumo, medido na ordenada, foi igual ou superior a determinado valor. No gráfico, por exemplo, durante  $t$  horas a carga do sistema foi igual ou superior a  $p$  MW .

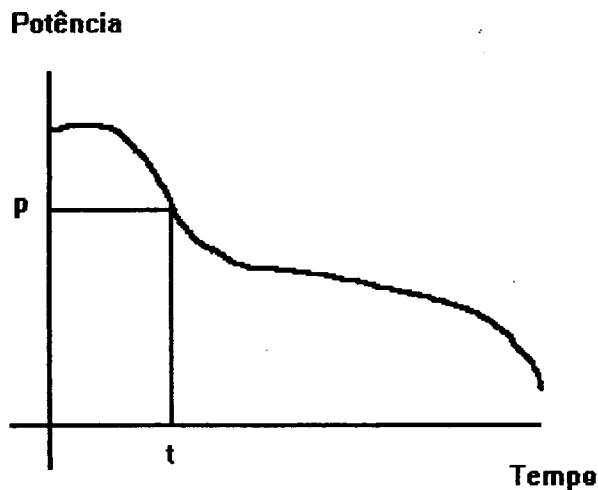


Fig. AI.2 - Curva de duração de carga.

Fator de carga :

A área sobre a curva de carga representa a energia fornecida ao sistema durante determinado período. Caso a ponta de carga permanecesse todo o tempo, a energia fornecida teria por área um retângulo, tendo por altura o valor em kW (ou MW ) desta ponta e por base o período considerado. A relação entre o primeiro valor de energia e o segundo (ponta constante), recebe o nome de fator de carga do sistema.

Demanda do sistema :

Representa a energia que deve ser suprida ao sistema elétrico, a partir das estações geradoras, de modo a atender as necessidades simultâneas de um grupo de consumidores que estejam conectados à rede naquele instante.

Fator de diversidade :

Aplica-se a grupos de consumidores cujas demandas máximas individuais não ocorrem ao mesmo tempo. A máxima demanda do sistema será sempre menor do que a soma das demandas máximas de todos os grupos de consumidores. Assim, o fator de diversidade será a relação entre a máxima demanda de um grupo e a soma das demandas máximas individuais.

Demanda média :

É definida como a relação entre a energia fornecida num período e o número de horas deste período.

Fator de demanda :

Definido como a razão entre a carga média suprida num período e o valor total da carga de um determinado sistema elétrico.

Fator de capacidade :

É a relação entre a demanda média de um sistema e a máxima capacidade de geração instalada no mesmo.

Despacho de carga :

Setor encarregado de gerenciar e monitorar, de modo contínuo e empregando sofisticados equipamentos de controle, o desempenho do sistema de energia elétrica, de modo a manter adequados os padrões de qualidade e segurança da rede elétrica.

Nível de tensão :

A potência elétrica é definida pelo produto da tensão elétrica (V) imposta a um condutor, pela corrente elétrica (I) que percorrerá o condutor. Esta corrente irá depender, em corrente alternada, dos parâmetros elétricos deste condutor: A resistência R e a reatância X.

A expressão para a transmissão de potência elétrica entre dois pontos a e b de uma rede de transmissão, com tensões  $v_a$  e  $v_b$  (em módulo), defasadas de  $\delta$  graus elétricos, será (Camargo, 1991):

$$P_{ab} = (1 / (R^2 + X^2)) \cdot (R v_a^2 - R v_a v_b \cos \delta + X v_a v_b \sin \delta) \quad (AI.1)$$

Observa-se, assim, que a capacidade de transmissão de energia elétrica é diretamente proporcional aos níveis de tensão  $v_a$  e  $v_b$ . Para linhas de transmissão com níveis de tensão mais altos,  $X \gg R$  e a expressão anterior fica, desprezando-se o parâmetro  $R$  ( $R=0$ ):

$$P_{ab} = (1/X) v_a v_b \sin \delta \quad (\text{AI.2})$$

Desta expressão depreende-se que a potência é função dos níveis de tensão e da defasagem angular entre estas tensões. O valor máximo da potência transmitida, do ponto de vista teórico, será alcançado quando a citada defasagem angular for de 90 graus elétricos.

Normalmente níveis de tensão abaixo de 69000 volts (69 kV) são empregados em sistemas de distribuição de energia elétrica. Tensões acima deste valor são usuais na transmissão de grandes blocos de energia. Acima de 345 kV e até 800 kV tem-se o terreno da transmissão em Extra-Alta Tensão (EAT). Acima de 800 kV tem-se a área da Ultra-Alta Tensão (UAT).

#### Perdas na transmissão :

As perdas na transmissão de energia estão associadas à componente resistiva da rede, o parâmetro  $R$ . As perdas podem ser calculadas pela expressão:

$$\text{Perdas} = R I^2 \quad (\text{AI.3})$$

Para manter o nível de perdas em certos patamares adequados e assim propiciar uma boa capacidade de transmissão de energia elétrica, é usual aumentar o nível da tensão de transmissão a medida que se deseja transmitir mais potência por uma distância mais longa.

#### Fator de potência :

O balaceamento entre os parâmetros  $X$  e  $R$  de uma determinada carga indica o valor do fator de potência desta carga. Nas aplicações residenciais e industriais as cargas se apresentam, de um modo geral, como cargas indutivas, isto é, com  $X > R$ . Define-se a grandeza  $\phi$  como

$$\phi = \arctg X/R \quad (\text{AI.4})$$

Nestes termos, o fator de potência é calculado pelo cosseno desta grandeza, ou seja,  $\cos \phi$ . A medida que  $X$  cresce em relação a  $R$  o fator de potência irá diminuir e haverá necessidade de corrigir o baixo fator de potência mediante o emprego de capacitores em paralelo com a carga. Normalmente o fator de potência situa-se em torno de 0,80.

---

### Proteção do sistema elétrico :

Os equipamentos de um sistema de energia elétrica devem ser protegidos contra sobrecorrentes e sobretensões que aparecem devido as falhas neste sistema, como um curto-circuito, por exemplo. Os dispositivos de proteção devem atuar o mais rápido possível, isolando a parte defeituosa da rede para que se façam os necessários reparos. Estes dispositivos funcionam, basicamente, por meio de pára-raios, disjuntores e relés.

### Alívio de carga :

Procedimento tomado pelo despacho de carga para manter a integridade do sistema em casos de emergência, usualmente devido a insuficiência de geração. Compreende desde a redução de carga via níveis de tensão até a retirada de operação de blocos de carga previamente selecionados.

### Confiabilidade :

Definida como a probabilidade de um componente (aparelho, sistema, equipamento) cumprir suas funções pré-fixadas, dentro de um período de tempo desejado e debaixo de certas condições operativas. Varia de 0 (nenhuma confiabilidade) a 1 (máxima confiabilidade). Índices apropriados de confiabilidade, como a probabilidade de perda de carga (LOLP), probabilidade de perda de energia (LOLE), frequência e duração (F&D), são tradicionalmente usados no planejamento dos sistemas elétricos. Embora o nível de confiabilidade possa ser otimizado, geralmente este nível é fixado a partir de um valor para o risco de não atender ao mercado (risco de déficit).

### Saida forçada :

Uma saída forçada de um equipamento é aquela resultante de condições de emergência diretamente relacionada com o mesmo, requerendo que este seja retirado de serviço imediatamente ou tão rápido quanto as operações de chaveamento (proteção) possam ser executadas. Pode também ser uma saída causada por erro humano, como uma operação indevida de algum equipamento.

### Taxa de saída forçada :

Usualmente aplicada à unidades geradoras, serve para medir o percentual de tempo em que estas encontram-se fora de serviço devido a alguma saída forçada. Pode ser calculada pela expressão (Camargo, 1981):

$$TSF = HSF / (HS + HSF) \quad (A1.5)$$

Onde HSF é o número de horas em que a unidade esteve fora de serviço devido a determinado problema e HS é o número de horas em que operou normalmente. O resultado da expressão anterior deve ainda ser multiplicado por 100 para termos o valor percentual. Uma taxa de saída forçada de 5%, por exemplo, significa que durante 95% do período considerado a unidade esteve em operação.

#### Reserva de geração :

Devido a possibilidade de saídas forçadas de unidades geradoras, o sistema elétrico deve contar com um certo valor adicional de capacidade de geração para fazer face a panes. A reserva de geração é composta de reserva primária e reserva secundária. A primeira compreende unidades que podem ser acionadas dentro de um período de 10 minutos e normalmente encontram-se diretamente sincronizadas à rede, acionadas pelo sistema de controle das turbinas. A reserva primária também engloba unidades de partida rápida, como por exemplo unidades à diesel. Já a reserva secundária consta de unidades geradoras que só podem ser colocadas em operação após um período de 30 minutos.

#### Objetivos da tarifação :

As tarifas em um sistema elétrico de potência devem contemplar diversos objetivos e entre estes destacamos os seguintes (Munasinghe, 1981):

- a) Os recursos econômicos da nação devem ser alocados de modo eficiente, não somente entre os diferentes setores da economia, mas também dentro do próprio setor elétrico.
- b) Uma alocação justa de custos entre os consumidores de modo a refletir a carga que cada um impõe ao sistema, assegurando um nível razoável de estabilidade de preços, ou seja, evitando flutuações acentuadas nos mesmos e ainda propiciar um nível mínimo de serviço para aquelas pessoas que não tenham condições de arcar com os custos totais.
- c) As tarifas deverão gerar recursos suficientes para permitir novos investimentos por parte das concessionárias de energia elétrica.
- d) A estrutura de tarifação deverá ser simples, de modo a facilitar a medição e a cobrança aos consumidores.
- e) Permitir a inclusão de outras considerações de ordem política e social, como por exemplo, o subsídio a determinadas áreas de modo a propiciar o desenvolvimento econômico de certas regiões.

---

Tarifa ao custo marginal :

No sistema elétrico, define-se o custo marginal como o custo necessário para atender a um kW adicional de carga. Em termos matemáticos teríamos então :

$$C_m = d c (q) / d q \quad (AI-6)$$

onde  $C_m$  é o custo marginal,  $c (q)$  é o custo total de atendimento em função do aumento marginal da carga e  $q$  é a carga atendida.

O custo marginal pode ser dividido em custo marginal de curto prazo e custo marginal de longo prazo (Bitu e Born, 1993). O custo marginal de curto prazo ou custo marginal de operação é o custo do atendimento ao sistema sem incorrer em nenhuma obra adicional. Neste sentido, a incorporação do aumento marginal de carga ao sistema é feita com base na reserva existente ou então degradando-se a qualidade do serviço.

Já o custo marginal de longo prazo ou custo marginal de expansão é o custo de atendimento ao diferencial de carga considerando obras adicionais no sistema. Pode também incorporar a reserva do sistema e a degradação na qualidade do serviço. Como já citado, a confiabilidade do sistema pode ser otimizada e, neste sentido, o nível ótimo de confiabilidade seria aquele para o qual o custo marginal de longo prazo se iguala ao custo marginal de curto prazo.

## **APÊNDICE II**

### **ASPECTOS BÁSICOS DE ANÁLISE FATORIAL**

#### **AII.1 Introdução**

Certos conceitos das ciências sociais e comportamentais não são bem definidos e existem muitas discussões sobre o real significado de termos como classe social, opinião pública ou personalidade extrovertida. Tais conceitos são frequentemente chamados de variáveis latentes, desde que não são diretamente observáveis mesmo na população. Tratam-se de construtos inventados pelos cientistas com o propósito de entender alguma área de interesse na pesquisa sendo realizada e para a qual não existe método operacional para fazer uma medida de forma direta.

Embora as variáveis latentes não possam ser observadas diretamente, alguns de seus efeitos aparecerão nas variáveis manifestas, ou seja, aquelas que podem ser verificadas. Fica claro que medir diretamente um conceito como preconceito racial não é possível; no entanto, pode-se por exemplo observar quando uma pessoa aprova, ou não, alguma legislação do governo a respeito deste assunto. Pode-se, também, saber de que raça são os amigos desta pessoa e assim assumir que tais observações são, de algum modo, indicadores de uma variável mais fundamental, o preconceito racial (Everitt, 1984). O método mais conhecido para investigar a dependência de um conjunto de variáveis manifestas em relação a um número menor de variáveis latentes é a chamada **Análise Fatorial**.

A análise fatorial é uma das técnicas mais usuais do que se convencionou chamar de análise multivariada. Quando empregamos este tipo de análise estamos frequentemente interessados no comportamento de uma variável ou grupos de variáveis em covariação com outras (Green, 1976).



As técnicas de análise multivariada são úteis para descobrir regularidades no comportamento de duas ou mais variáveis e para testar modelos alternativos de associação entre tais variáveis, incluindo a determinação de quando e como dois ou mais grupos diferem em seu perfil multivariado. Quando analisamos dados associados nós esperamos explicar variações de acordo com um ou mais dos seguintes pontos de vista:

a- Determinação da natureza e do grau de associação entre um conjunto de variáveis dependentes e um conjunto de variáveis independentes.

b- Achar uma função ou fórmula pela qual nós podemos estimar valores das variáveis dependentes a partir das variáveis independentes, o chamado problema da regressão.

c- Estabelecer a significância estatística associada aos itens anteriores.

A análise fatorial, em sua versão clássica de determinar os fatores ortogonais que descrevem aproximadamente e sucessivamente os vetores-resposta de  $n$  indivíduos a um conjunto constituído por  $m$  testes psicológicos, relaciona-se com os trabalhos de Karl Pearson (1901) e Charles Spearman (1904). Este último trata, pela primeira vez, do que hoje se conhece como as variáveis latentes mencionadas anteriormente. Assim é a inteligência e são desta mesma natureza, muitas outras variáveis psicológicas, sociais e econômicas (Souza, 1988).

Em realidade a análise fatorial não se refere a uma única técnica estatística, mas a uma variedade de técnicas relacionadas para tornar os dados observados mais facilmente (e diretamente) interpretados. Isto é feito analisando-se os inter-relacionamentos entre as variáveis de tal modo que estas possam ser descritas convenientemente por um grupo de categorias básicas, em número menor que as variáveis originais, chamado fatores. Assim, o objetivo da análise fatorial é a parcimônia, procurando definir o relacionamento entre as variáveis de modo simples e usando um número de fatores menor que o número original de variáveis.

Mais precisamente, um fator é um construto, uma entidade hipotética, uma variável não observada, que se supõe estar subjacente a testes, escalas, itens e, de fato, medidas de qualquer espécie. Como construtos, os fatores apenas possuem realidade no fato de explicarem a variância de variáveis observadas, tal como se revelam pelas correlações entre as variáveis sendo analisadas, ou seja, a única realidade científica que os fatores possuem vem das correlações entre testes ou variáveis sendo pesquisadas. Se os resultados de indivíduos em itens ou testes caminham juntos, então, na medida em que existam correlações substanciais entre eles, está definido um fator.

As cargas fatoriais obtidas são, com efeito, reduções de dados muito mais complexos a tamanho manuseável para que o pesquisador possa interpretar melhor os resultados (Kerlinger, 1980).

A expressão carga fatorial ocorre frequentemente. Uma matriz de cargas fatoriais é um dos produtos finais da análise fatorial. Uma carga fatorial é um coeficiente - um número decimal, positivo ou negativo, geralmente menor do que 1 - que expressa o quanto um teste ou

variável observada está carregado ou saturado em um fator. Por outras palavras, quanto maior for a carga em cima de um fator, mais a variável se identifica com o que quer que seja o fator.

Em síntese, a análise fatorial é essencialmente um método para determinar o número de fatores existentes em um conjunto de dados, para determinar quais testes ou variáveis pertencem a quais fatores, e em que extensão os testes ou variáveis pertencem a/ou estão saturados com o que quer que seja o fator.

## AII.2 Confiabilidade e validade em análise fatorial

Qualquer conjunto de medidas tem uma variância total. Em realidade, ao obtermos um conjunto de números em uma série de medidas, podemos calcular a média, o desvio padrão e a variância. Em geral a variância obtida é a variância total, visto englobar variância verdadeira, sistemática e de erro aleatório.

Do ponto de vista matemático,

$$V_t = V_v + V_e \quad (\text{AII.1})$$

Com os índices referindo-se, respectivamente, às variâncias total, verdadeira e de erro (sistemático e aleatório).

A definição de confiabilidade está centrada no grau de repetição e na consistência de medidas empíricas. Uma medida é confiável quando pode ser repetida e tem consistência, ou seja, outros investigadores chegarão, a menos de erros presentes em qualquer medição, aos mesmos resultados.

Por outro lado, quando um teste medir coisas em comum com outros testes, aparecerá a chamada variância compartilhada, ou variância de fator comum,  $V_{co}$ . Caso um teste meça algo que outro não consiga, tem-se a variância específica deste,  $V_{esp}$ . Teremos assim as variâncias de fator comum, a variância específica e, ainda, a variância do erro.

O foco de atenção na avaliação da confiabilidade está no erro aleatório. Caso não existam erros envolvidos na medida de um determinado conceito, a confiabilidade será igual a 1. A confiabilidade irá decrescer a medida que cresça a proporção de erro aleatório, ou seja, a confiabilidade é inversamente proporcional ao erro aleatório contido no processo de medição. Do ponto de vista matemático é usual decompor a variância total de uma medida.

A variância total de um teste,  $V_t$ , pode ser decomposta segundo a seguinte equação (Kerlinger, 1986):

$$V_t = V_{co} + V_{esp} + V_e \quad (\text{AII.2})$$

Onde  $V_{co}$  é a variância de um fator comum, ou seja, a variância que duas ou mais medidas partilham em comum. A relação  $V_{co} / V_t$  é conhecida como a validade de uma medida.  $V_{esp}$  é a variância específica à medida, inerente à ela e somente à ela. Finalmente,  $V_e$  é a variância devido ao erro presente na medida. Supondo a existência de  $k$  fatores, podemos escrever

$$V_{co} = V_A + V_B + \dots + V_K \quad (\text{AII.3})$$

Substituindo esta expressão na fórmula AII.2 e dividindo ambos os membros da equação por  $V_t$  poderemos obter

$$h^2 + V_{esp}/V_t + V_e/V_t = 1 \quad (\text{AII.4})$$

Sendo  $h^2 = V_A/V_t + V_B/V_t + \dots + V_K/V_t$  chamada de comunalidade, a proporção da variância total que é variância de fator comum.

Supondo  $a_i, b_i, \dots, k_i$  como os carregamentos fatoriais do teste  $i$ , podemos ainda estabelecer a seguinte expressão:

$$h^2 = a_i^2 + b_i^2 + \dots + k_i^2 \quad (\text{AII.5})$$

Definindo-se confiabilidade de uma medida (teste),  $r$ , como a proporção da variância verdadeira em relação a variância total obtida, virá de AII.1,

$$r = 1 - V_e/V_t \quad (\text{A II.6})$$

Pode-se pois verificar que

$$r = h^2 + V_{esp}/V_t \quad (\text{A II.7})$$

A equação anterior estabelece a ponte entre a análise fatorial e a confiabilidade de uma medida. Ela nos mostra que a confiabilidade de uma medida é maior ou igual a sua comunalidade.

Um coeficiente de confiabilidade bastante empregado na análise fatorial é o coeficiente theta. Este coeficiente baseia-se no método das componentes principais, a ser examinado em detalhes no item AII.5. Neste método, dado um conjunto de itens não perfeitamente intercorrelacionados, componentes são extraídas em ordem decrescente de importância em termos da quantidade de variância associada a cada componente.

Nestes termos, a primeira componente responde pela maior proporção de variância entre os itens, a segunda componente é responsável pela segunda maior proporção, independente da primeira, e assim sucessivamente. A metodologia é desenvolvida com o auxílio de autovalores e os autovetores associados.

O coeficiente theta poderá então ser calculado com o emprego da fórmula a seguir:

$$\theta = (N / (N-1)) \cdot (1 - (1/\lambda)) \quad (\text{AII.8})$$

Onde N é o número de itens associados a identificação de um construto e  $\lambda$  é a soma dos quadrados das cargas fatoriais destes itens (autovalor relacionado ao fator).

Um outro coeficiente que tem tido bastante aceitação nos últimos anos é o coeficiente ômega, baseado numa análise fatorial tipo fator comum e calculado pela seguinte expressão:

$$\Omega = 1 - ((N - \sum h_i^2) / (N + 2b)) \quad (\text{AII.9})$$

Sendo  $h_i$  a comunalidade do i-ésimo item e b a soma das correlações entre os indicadores (itens) envolvidos.

Já o índice alfa de Cronbach pode ser obtido por meio da expressão AII.10, trabalhando com a matriz de correlações entre as variáveis:

$$\alpha = (N / (N-1)) \cdot (1 - (N / (N + 2b))) \quad (\text{AII.10})$$

Onde N é o número de indicadores de um construto e b a soma das correlações entre os indicadores deste construto ou fator, como no caso anterior.

É oportuno salientar que segundo Zeller e Carmines, 1980, o conceito de validade está associado ao de erro sistemático. Compreende a análise de fontes sistemáticas de erros, constantes, ou seja, não aleatórias. Neste sentido, não influem na consistência e na repetição das medidas, ou ainda, na confiabilidade desta medida. É perfeitamente possível um instrumento de medida operar corretamente mas não medir aquilo que se pretende. Um conjunto de indicadores pode medir de modo eficiente (ou seja, confiável) um conceito que no entanto não é correto.

A validade então existiria quando medimos realmente aquilo que pretendemos medir. Um instrumento que fornece sempre as mesmas informações (mas não as verdadeiras) é confiável mas não tem validade. A partir da constatação da existência do erro sistemático e do erro aleatório como indicativos da validade e da confiabilidade de uma medida, respectivamente, a variância esperada de uma medida pode ser anotada como:

$$V_t = V_v + V_s + V_e + 2 \text{ COV vs} \quad (\text{AII.11})$$

Aqui  $V_s$  representa a variância sistemática e COV vs a correlação entre um escore verdadeiro e um erro sistemático de medição. Diante deste enfoque, a confiabilidade continua a ser calculada como antes, isto é, pela fórmula AII-6 e a validade pela expressão a seguir:

$$\text{Val} = V_v / V_t \quad (\text{AII.12})$$

Ou seja, a proporção da variância que os escores observados compartilham com os valores verdadeiros. As expressões anteriores tornam claro que a diferença entre a confiabilidade e a validade é inteiramente dependente do erro sistemático. Caso um conjunto de indicadores não contenha erro sistemático, medindo o conceito de interesse a menos de flutuações aleatórias, a validade será igual a confiabilidade. Caso as medições contenham um nível substancial de erro sistemático, a validade poderá ser muito menor do que a confiabilidade (Zeller e Carmines, 1980).

De particular importância na análise fatorial, a validade do construto está associada ao fato de um pesquisador acreditar que o seu instrumento de medição reflete um construto particular ao qual estão relacionados certos conceitos. A validade do construto é avaliada dentro de um dado contexto teórico e, de modo específico, centra-se sobre a avaliação de quando uma medida particular relaciona-se com outras medidas de forma consistente com as hipóteses teóricas derivadas e que dizem respeito aos conceitos (ou construtos) sendo medidos.

A validação do construto envolve tres etapas:

a - Especificar as relações teóricas entre os conceitos.

b- Examinar o relacionamento empírico entre as medidas dos conceitos.

c- Interpretar a evidência empírica que possa aparecer em termos de como ela clarifica a validade do construto particular sendo medido.

De acordo com a lógica da validade do construto, se um conceito A se relacionar teoricamente com um conceito B, os indicadores que são escolhidos para refletir (ou medir) tais conceitos deverão se relacionar empiricamente. Caso os indicadores de um conceito A se relacionarem diferencialmente em relação aos indicadores de um conceito B, existe a evidência de que estes indicadores não refletem um único conceito.

Como em qualquer procedimento estatístico, o uso de grandes amostras, diminuindo a variância do erro, e a escolha criteriosa dos indicadores dos construtos a serem investigados, incluindo a sua disposição de modo a minimizar os erros sistemáticos, permitem a identificação adequada dos fatores e carregamentos fatoriais. Neste sentido, os estudos e trabalhos de

outros pesquisadores (Kerlinger, 1986; Train et al., 1987) podem ser fundamentais quando se constrói determinado teste, como um questionário, por exemplo.

### AII.3 Representação geométrica da análise fatorial

Imaginando testes ou variáveis como pontos num espaço de  $N$  dimensões, podemos verificar que as variáveis que estejam alta e positivamente correlacionadas estarão próximas uma das outras neste espaço e afastadas daquelas com as quais não se relacionam. Apareceriam, deste modo, enxames de pontos no espaço. Cada um destes pontos poderia ser localizado no espaço caso eixos adequados sejam inseridos no mesmo, um eixo para cada uma das  $N$  dimensões. Assim, o problema da análise fatorial seria projetar eixos através dos enxames de pontos vizinhos, de modo a alocar estes eixos de forma a levar em conta o tanto que for possível das variâncias das variáveis (Kerlinger, 1986).

A posição ideal destes eixos no espaço, a posição ótima e única, que caracteriza a parcimônia aludida anteriormente e buscada na metodologia, seria obtida através de rotações dos eixos. Enfatiza-se que estas rotações preservam a comunalidade.

Para exemplificar, tomemos emprestado um exemplo citado em Lohnes e Cooley, 1971. Neste exemplo, um pesquisador está investigando respostas de um questionário relativo a status sócio-econômico de famílias. Sejam então  $X$  e  $Y$  duas variáveis tais como renda familiar e grau de prestígio da profissão do chefe da família. Os valores de  $X$  e de  $Y$  para uma amostra de  $N$  famílias são plotados em um gráfico, figura A II.1.

A elipse representada nesta figura contém o aspecto geral do enxame bivariado de pontos que resultará da plotagem das respostas das  $N$  famílias. As variáveis  $X$  e  $Y$  apresentam uma alta correlação positiva neste caso

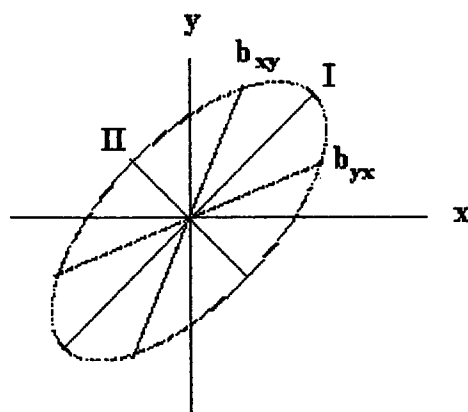


Fig.- AII.1

O objetivo do pesquisador consiste em produzir um escore composto que meça o que estas variáveis tem em comum, buscando o máximo de variância entre as famílias. Isto pode ser conseguido projetando todos os pontos perpendicularmente sobre o eixo principal da elipse, procedimento batizado de análise das componentes principais, já mencionado no item anterior.

O eixo principal da elipse não deve ser confundido com as linhas de regressão  $b_{x y}$ , e  $b_{y x}$  mostradas na figura A II. 1. Caso uma terceira variável seja adicionada, o espaço de teste torna-se tridimensional e a elipse transforma-se num elipsóide. A medida que mais e mais variáveis sejam acrescentadas à análise, o espaço cresce em dimensão, mas o procedimento descrito anteriormente não muda.

Como já mencionamos, uma das possibilidades do uso da análise fatorial consiste em reduzir a dimensionalidade de um conjunto de variáveis aproveitando a vantagem das suas intercorrelações. Assim, diversas variáveis podem ser reduzidas a, por exemplo, duas dimensões, bastando determinar os eixos I e II de um hiper-elipsóide. Ao longo do eixo I busca-se a máxima variância. Constroi-se, após, um segundo eixo, o eixo II, que é perpendicular ao primeiro e ao longo do qual maximiza-se a variância remanescente.

De um modo geral, a determinação dos fatores permite reduzir a dimensionalidade de um espaço a umas poucas dimensões. Em torno de cada eixo coordenado neste espaço estarão agrupadas variáveis de mesma natureza. Um vetor projetado neste espaço  $m$ , de dimensionalidade menor, possui magnitude também menor. O comprimento de um vetor  $z_j$  neste espaço será dado pela raiz quadrada da comunalidade  $h_j^2$  da variável (Harman, 1976).

Através das cargas fatoriais se poderão plotar pontos neste espaço, por exemplo A e B, associados aos testes  $i$  e  $j$ , por exemplo. As distâncias da origem a estes pontos determinam dois vetores A e B e o cosseno do ângulo entre estes dois vetores indicará o grau de correlação entre os testes (variáveis)  $i$  e  $j$ .

#### AII.4 Formulação matemática da análise fatorial

O modelo matemático da análise fatorial postula que as variáveis manifestas,  $x$ , são funções lineares das variáveis latentes,  $y$ , mais um termo residual,  $e$ :

$$x_1 = a_{11} y_1 + a_{12} y_2 + \dots + a_{1p} y_p + e_1$$

$$x_2 = a_{21} y_1 + a_{22} y_2 + \dots + a_{2p} y_p + e_2$$

$$\dots\dots\dots$$

( AII.13)

$$x_m = a_{m1} y_1 + a_{m2} y_2 + \dots + a_{mp} y_p + e_m$$

As  $m$  variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_m$  estariam associadas a testes realizados em  $n$  indivíduos. Por exemplo, elas poderiam representar as notas obtidas por uma pessoa em  $m$  disciplinas (Souza, 1988). Os  $p$  vetores  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_p$  são chamados de **fatores** e são vistos como vetores explicativos dos escores obtidos.

O modelo proposto consiste, então, num conjunto de  $m$  modelos de regressão linear múltipla, em que tanto os  $p$  vetores descritores, comuns às  $m$  regressões, e os coeficientes  $a_{jk}$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ;  $k = 1, 2, \dots, p$ ) são desconhecidos. Estes coeficientes são conhecidos como **carregamentos fatoriais**.

Aos  $p$  fatores e aos  $m$  vetores de erro são impostas as seguintes propriedades (modelo ortogonal de fatores) :

- a) Os fatores tem média nula e variâncias unitárias
- b) Os fatores são ortogonais.
- c) Os fatores não são correlacionados com os vetores de erro.
- d) Os vetores de erro tem covariância nula,  $\text{COV}(e_j, e_k) = 0$  para  $j \neq k$ .

Para a modelagem via matrizes é útil definir :

$\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ , chamada de matriz de respostas.

$\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ , a matriz de fatores

$\mathbf{E} = (e_1, e_2, \dots, e_m)$ , a matriz de erros ou residual  $e$ ,

$\mathbf{A} = (a_{ij})^T$ , com  $i = 1, 2, \dots, p$  e  $j = 1, 2, \dots, m$ , chamada de matriz de carregamentos fatoriais. O símbolo  $T$ , usado no expoente da matriz, refere-se à matriz transposta.

Neste sentido, a equação AII.13 pode ser escrita como:

$$\mathbf{X} = \mathbf{Y} \mathbf{A} + \mathbf{E} \text{ e } \mathbf{X}^T = \mathbf{A}^T \mathbf{Y}^T + \mathbf{E}^T \quad (\text{AII.14})$$

Multiplicando-se  $\mathbf{X}^T$  por  $\mathbf{X}$  virá :



$$\mathbf{X}^T \mathbf{X} = \mathbf{A}^T \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} \mathbf{A} + \mathbf{A}^T \mathbf{Y}^T \mathbf{E} + \mathbf{E}^T \mathbf{Y} \mathbf{A} + \mathbf{E}^T \mathbf{E} \quad (\text{AII.15})$$

Definindo  $\mathbf{S} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} / n$  como a matriz de covariâncias entre as respostas  $\mathbf{I} = \mathbf{Y}^T \mathbf{Y} / n$  como a matriz de identidade ou de covariância entre os fatores e  $\Psi = \mathbf{E}^T \mathbf{E} / n = \text{DIAG}(\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_m)$  como a matriz de covariância entre os vetores de erros, a equação anterior se transforma em:

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} + \Psi, \text{ visto que } \mathbf{E}^T \mathbf{Y} = 0 = \mathbf{Y}^T \mathbf{E} \quad (\text{AII.16})$$

A expressão anterior expressa a forma paramétrica da análise fatorial, relacionando a matriz de covariância entre as respostas com a matriz de carregamentos e ainda à matriz de erros  $\Psi$ . Normalmente a matriz de respostas é colocada na forma padrão,  $\mathbf{Z} = (\mathbf{X} - \mu) / \sigma$ , com média nula e variâncias unitárias. Neste caso a matriz  $\mathbf{S}$  transforma-se na matriz de correlações  $\mathbf{R}$ . Esta matriz terá o valor 1 nos elementos da diagonal principal.

Por outro lado, dada a matriz  $\mathbf{R}$  e a matriz diagonal  $\Psi$ , existe uma infinidade de matrizes de carga  $\mathbf{A}$  satisfazendo a equação

$$\mathbf{R} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} + \Psi \quad (\text{AII.17})$$

Esta indeterminação possibilita a busca de uma solução adequada segundo critérios de simplicidade na descrição das respostas a partir dos fatores (Souza, 1988).

O problema clássico da análise fatorial consiste, então, em calcular a matriz de cargas  $\mathbf{A}$  e a matriz diagonal  $\Psi$  a partir da matriz de correlações  $\mathbf{R}$ , de tal sorte a satisfazer a equação (AII.17).

Na prática a matriz de correlações de uma população não é conhecida e deve ser substituída por uma estimativa da mesma, a matriz  $\mathbf{S}$ . Caso as correlações em  $\mathbf{S}$  sejam desprezíveis, a análise fatorial não terá utilidade e para testar se a matriz populacional difere de fato de uma matriz unitária diagonal é usual lançar mão do critério abaixo (Maxwell, 1979):

$$\chi^2 = -\{ (N-1) - (2m+5)/6 \} \log_e |\mathbf{S}| \quad (\text{AII.18})$$

Na expressão anterior  $N$  é o tamanho da amostra e  $m$  o número de variáveis. Para amostras de tamanho adequado,  $\chi^2$  tem distribuição aproximadamente qui-quadrado, com  $m/2 (m-1)$  graus de liberdade. Caso um resultado significativo seja obtido, então pode-se prosseguir a análise fatorial.

Usualmente um programa computacional estima os carregamentos para o primeiro fator,  $p=1$ , e elimina os seus efeitos da matriz  $\mathbf{S}$ . Os coeficientes de correlação parcial que permanecem são testados como um todo para a significância e, caso os sejam, o valor de  $p$  é

aumentado de 1 e o processo tem sequência. O valor de  $p$  poderá ser confirmado através de um conjunto de dados replicados ou, caso  $N$  seja grande, dividindo a amostra aleatoriamente em duas partes, uma para fins exploratórios e a outra com objetivos de confirmação. Um outro critério para o número de fatores foi sugerido por Kaiser em 1960 (Linderman et al, 1980) e acentua que o número de fatores comuns deveria ser igual ao número de componentes principais (item a seguir) tendo autovalores superiores a 1,00 (Um).

## AII.5 O método das componentes principais

O método das componentes principais é um dos mais usados para resolver o problema clássico da análise fatorial, ou seja, solucionar a equação (AII.17) a partir da fatoração da matriz  $\mathbf{R}$ . Uma análise das componentes principais diz respeito a explicar a estrutura da variância e da covariância através de poucas combinações lineares das variáveis originais. Seu objetivo geral consiste tanto em reduzir os dados como interpretá-los adequadamente.

Embora  $p$  componentes sejam requeridas para reproduzir toda a variabilidade do sistema, frequentemente uma grande parte desta poderá ser levada em conta por meio de um número menor,  $n$ , de componentes principais. Estas  $n$  componentes ( $n < p$ ) podem substituir as  $p$  variáveis iniciais e, assim, o conjunto original de  $m$  observações sobre as  $p$  variáveis é reduzido a  $m$  observações sobre  $n$  componentes principais. Uma análise das componentes principais frequentemente revela relações que não eram previamente consideradas e assim permitem interpretações que não iriam, de outro modo, aparecer (Johnson e Wichern, 1992).

O método das componentes principais leva à medidas que podem ser computadas como funções lineares de vetores-teste de escores observados. Para isto, uma função linear  $y$  de uma variável vetorial  $\mathbf{z}$  pode ser definida como

$$\mathbf{y} = \mathbf{v}^T \mathbf{z} \quad (\text{AII.19})$$

Na expressão anterior  $\mathbf{v}$  é uma matriz de coeficientes. Supondo  $\mathbf{z}$  com  $p$  elementos e  $\mathbf{y}$  com  $n$  elementos,  $n < p$ , busca-se explicar um teste através de um número menor de variáveis, os fatores  $\mathbf{y}$ . Neste caso  $\mathbf{v}$  será uma matriz de ordem  $p \times n$ .

Produzir um vetor de transformação para  $\mathbf{y}$  de modo tal que seus elementos sejam não correlacionados é o mesmo que buscar uma transformação ortogonal. Para a primeira componente principal, o primeiro elemento de  $\mathbf{y}$  é definido pela primeira coluna de  $\mathbf{v}$ , ou seja,  $\mathbf{v}_1$ , e se deseja uma solução tal que a variância de  $y_1$  seja maximizada, ou ainda :

$$(1/N) \sum_1^N (y_{1i}^2) \Big|_{\max} \quad (\text{AII.20})$$

onde  $y_{1i} = \mathbf{v}_1^T \mathbf{z}_i$  e  $\mathbf{v}_1^T \mathbf{v}_1 = 1$ .

Trabalhando com a expressão (AII.20) e com as relações anteriores pode-se demonstrar que (Cooley e Lohnes, 1971):

$$(1/N) \sum_1^N (y_{1i}^2) = \mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1 \quad (\text{AII.21})$$

Deseja-se, assim, maximizar  $\mathbf{v}_1^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1$  sujeito a  $\mathbf{v}_1 \mathbf{v}_1^T = 1$ . Trabalhando com o multiplicador de Lagrange  $\lambda_1$  obtém-se a expressão:

$$(\mathbf{R} - \lambda_1 \mathbf{I}) \mathbf{v}_1 = 0 \quad (\text{AII.22})$$

A equação característica de  $\mathbf{R}$  será um polinômio de grau  $p$  obtido pela expansão do determinante  $|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$ . As raízes desta equação,  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ , serão os autovalores da matriz e, associados a estes, os autovetores  $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_p$ . Aqui valem as seguintes expressões:

$$\sum_1^p \lambda_j = \text{traço}(\mathbf{R}) = p \text{ (variância total) e}$$

$$\prod_1^p \lambda_j = |\mathbf{R}| \quad (\text{AII.23})$$

Ou seja, a soma dos autovalores é igual a ordem da matriz e o produto deles iguala o determinante de  $\mathbf{R}$ . Assim,  $\lambda_1$  é o máximo valor que a variância de um componente de  $\mathbf{z}$  pode ter sujeito à normalização do vetor  $\mathbf{v}_1$ . Em seguida, obtém-se  $\lambda_2$  como máximo, dado  $\lambda_1$ . Deseja-se encontrar uma combinação linear normalizada da expressão  $\mathbf{y}_2 = \mathbf{v}_2^T \mathbf{z}$  que, entre todas as componentes não correlacionadas com  $\mathbf{y}_1$ , possua a máxima variância. A característica de não correlação se exprime por :

$$(1/N) \sum_1^N y_{2i} y_{1i} = 0 \quad (\text{AII.24})$$

A expansão da equação anterior nos leva a  $\mathbf{v}_2^T (1/N) \sum_1^N (\mathbf{z}_i \mathbf{z}_i^T) \mathbf{v}_1$ , ou seja,  $\mathbf{v}_2^T \mathbf{R} \mathbf{v}_1$ .

Agora, de (AII.22) obtém-se  $\mathbf{R} \mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1 \lambda_1$  e a expressão anterior se transforma em:

$$\mathbf{v}_2^T \mathbf{v}_1 \lambda_1 = 0 \quad (\text{AII.25})$$

Esta equação só pode ser verdadeira caso  $\mathbf{v}_2^T \mathbf{v}_1 = 0$ , o que implica na ortogonalidade dos autovetores. Trabalhando com o segundo multiplicador de Lagrange, pode-se demonstrar (Cooley e Lohnes, 1971) que  $\lambda_2$  e  $\mathbf{v}_2$  seriam o segundo autovalor e autovetor, respectivamente, da equação  $|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$ . O processo então pode ser continuado até a obtenção das  $p-1$  variâncias máximas  $\lambda_j$  para os componentes  $y_j = \mathbf{v}_j^T \mathbf{z}$ .

A característica fundamental do método é que, enquanto o conjunto completo de  $p$  componentes reproduzirá exatamente a matriz de correlação  $\mathbf{R} = \mathbf{v} \mathbf{L} \mathbf{v}^T$  (onde  $\mathbf{L}$  é a matriz diagonal com  $\lambda_j$  na  $j$ -ésima posição), e assim leva em conta toda a variância da variável  $\mathbf{z}$ , é possível reter na solução somente os primeiros  $n$  componentes ( $n < p$ ), de tal sorte que estes  $n$  componentes expliquem mais da variância de  $\mathbf{z}$  do que qualquer outro conjunto ortogonal de  $n$  elementos.

Geometricamente as componentes principais se posicionam ao longo de um hiperelipsóide centrado em  $\mathbf{x}$  (média da amostra) e cujos eixos são dados pelos autovetores de  $\mathbf{R}$ . Os comprimentos destes eixos são proporcionais a raiz quadrada de  $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$  e ainda  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ , são os autovalores de  $\mathbf{R}$ . Consequentemente, as componentes principais da amostra podem ser interpretadas como o resultado da translação da origem do sistema original de coordenadas para  $\mathbf{x}$  e então rodando os eixos coordenados até que passem pela nuvem de pontos plotados nas direções de máximas variâncias. Quando os autovalores de  $\mathbf{R}$ , por seu turno, forem praticamente idênticos, a variação amostral é homogênea em todas as direções, caracterizando um esferóide e não será possível, neste caso, representar os dados em menos do que  $p$  dimensões ou fatores, perdendo-se assim a parcimônia desejada.

Vimos, portanto, que os autovalores e os autovetores da matriz de correlação são a essência do método das componentes principais. Os autovetores definem as direções da máxima variabilidade e os autovalores especificam as variâncias. Quando os primeiros (e poucos) autovalores são muito maiores que o resto, a maior parte da variância total pode ser explicada em menos do que  $p$  dimensões. Cabe também realçar que o próprio desenvolvimento da análise fatorial ensejou, com o passar do tempo, o aparecimento de outros métodos de extração dos fatores, como o método das comunalidades, o método dos centróides, máxima verossimilhança e outros, disponíveis nos modernos programas computacionais como o SPSC (Statistical Package for the Social Sciences) e o STATISTICA, que trabalha em ambiente Windows.

Obtida então a matriz  $\mathbf{v}$ , a partir dos autovalores e autovetores associados de  $\mathbf{R}$ , o interesse centra-se em calcular a matriz de carregamentos fatoriais, a matriz  $\mathbf{A}$ . Esta matriz e outras duas matrizes de interesse podem ser obtidas pelas expressões a seguir (Cooley e Lohnes, 1971), onde os autovetores normalizados são as colunas de  $\mathbf{v}$ :

$$\mathbf{A} = \mathbf{v} \mathbf{L}^{1/2} \quad (\text{AII.26})$$

Uma outra matriz importante é a matriz de coeficientes dos escores fatoriais,  $\mathbf{B}$ , cujo cálculo é feito pela equação

$$\mathbf{B} = \mathbf{V} \mathbf{L}^{-1/2} \quad (\text{AII.27})$$

Por meio desta matriz é possível computar os escores fatoriais dos indivíduos usando a expressão

$$\mathbf{F} = \mathbf{Z} \mathbf{B} \quad (\text{AII.28})$$

Nesta equação  $\mathbf{Z}$  é a matriz das respostas na forma padrão.

No método das componentes principais, a matriz  $\mathbf{A}$  fornece as correlações entre as variáveis originais e os fatores. Expressa, portanto, as variáveis  $z_i$  como funções lineares dos fatores obtidos. A matriz  $\mathbf{B}$ , por outro lado, permite obter um determinado fator como função linear das variáveis  $z_i$ .

Supondo agora que a variável  $z_i$  tenha os carregamentos fatoriais  $a_{11}$  e  $a_{12}$  associados aos fatores 1 e 2, e que a variável  $z_j$  tenha os carregamentos  $a_{21}$  e  $a_{22}$  associados aos mesmos fatores, então a correlação entre  $z_i$  e  $z_j$  será dada pela expressão:

$$\rho_{ij} = a_{11} a_{21} + a_{12} a_{22} \quad (\text{AII.29})$$

A expressão anterior pode ser generalizada para  $n$  fatores:

$$\rho_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{1k} a_{2k} \quad (\text{AII.30})$$

## AII.6 Rotação dos fatores

Quando  $p > 1$ , ou seja, existe mais do que um fator, aparecerá uma ambiguidade inerente ao modelo fatorial. Seja  $\mathbf{F}$  uma matriz ortogonal  $p \times p$  tal que  $\mathbf{F} \mathbf{F}^T = \mathbf{F}^T \mathbf{F} = \mathbf{I}$ . Façamos  $\mathbf{A}^\# = \mathbf{F} \mathbf{A}$  e, logo,  $\mathbf{A}^T \mathbf{F}^T = (\mathbf{A}^\#)^T$ .

Embora  $\mathbf{A}^\#$  seja diferente de  $\mathbf{A}$ , ambas geram a mesma matriz de correlações  $\mathbf{R}$ . Com efeito, a expressão (AII.17) nos diz que  $\mathbf{R} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} + \Psi$ , ou ainda,  $\mathbf{R} = \mathbf{A}^T \mathbf{F}^T \mathbf{F} \mathbf{A} + \Psi$ , e assim,

$$\mathbf{R} = (\mathbf{A}^\#)^T \mathbf{A}^\# + \Psi \quad (\text{AII.31})$$

Neste sentido, é impossível, na base das observações feitas sobre  $\mathbf{X}$ , distinguir os carregamentos fatoriais  $\mathbf{A}$  dos carregamentos  $\mathbf{A}^\#$ , sendo que os fatores  $\mathbf{Y}$  e  $\mathbf{Y}^\#$  possuem as mesmas propriedades estatísticas. Assim,  $\mathbf{A}$  e  $\mathbf{A}^\# = \mathbf{F} \mathbf{A}$  fornecem a mesma representação, a ma-

triz de correlações  $\mathbf{R}$ , embora os carregamentos de  $\mathbf{A}$  sejam, em geral, diferentes dos carregamentos de  $\mathbf{A}^\#$ .

As communalidades, fornecidas pelos elementos da diagonal de  $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$  ou pelo produto de  $(\mathbf{A}^\#)^T \mathbf{A}^\#$ , não serão afetadas pela escolha de  $\mathbf{F}$ . Pela expressão (AII.14) virá, então,  $\mathbf{X} = \mathbf{Y} \mathbf{F}^T \mathbf{F} \mathbf{A} + \mathbf{E}$  e fazendo  $\mathbf{Y}^\# = \mathbf{Y} \mathbf{F}^T$  vem

$$\mathbf{X} = \mathbf{Y}^\# \mathbf{A}^\# + \mathbf{E} \quad (\text{AII.32})$$

Esta ambiguidade proporciona a oportunidade para o uso da rotação de eixos na análise fatorial, dado que matrizes ortogonais correspondem a rotações (e reflexões) do sistema de coordenadas de  $\mathbf{X}$ . Assim, sempre que os carregamentos originais não possam ser facilmente interpretáveis (o que quase sempre é o caso), é prática comum fazer uma rotação dos fatores até que uma estrutura mais simples apareça.

Por outro lado, sabe-se, da álgebra linear, que um conjunto de  $m$  vetores gera um espaço a  $n$  dimensões quando cada vetor neste espaço puder ser representado como uma combinação linear destes  $m$  vetores, que formariam a base deste espaço  $n$ -dimensional. Mas a base para um espaço certamente não é única, existindo infinitas possibilidades para a escolha da mesma. Explica-se, assim, do ponto de vista geométrico, a questão da indeterminação em análise fatorial já aludida anteriormente. A escolha de uma base particular em realidade é o que se entende pela rotação dos fatores na análise fatorial.

A parcimônia é o que se busca ao selecionar uma determinada solução entre uma infinidade de outras possíveis. Trabalhando com a representação mais simples possível, a de um ponto, a parcimônia aludida pode ser encontrada ao passar um dos eixos pelo ponto. Ao se aproximar deste ideal, pode se observar que quando o sistema de referência for rodado até que um dos eixos passe pelo ponto, o produto das duas coordenadas cresce menos. Dentro desta linha de raciocínio pode se estabelecer (Harman, 1976), que alguma função da soma do produto das coordenadas de um conjunto de pontos colineares seja usada como uma medida do **conteúdo de parcimônia** associado à descrição destes pontos, como a expressão a seguir, envolvendo o caso de  $n$  variáveis e  $m$  fatores ortogonais:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{p < q=1}^m (a_{jp} - a_{jq})^2 \quad (\text{AII-33})$$

Saliente-se que os objetivos da extração dos fatores diferem daqueles associados à rotação. A técnica de extração é projetada para maximizar fontes independentes de variância na matriz de correlações. Já o objetivo da rotação consiste em delinear os fatores de tal modo a que eles correspondam a agrupamentos de variáveis inter-relacionadas, ou seja, os fatores são rodados até que correspondam a uma dimensão separada do construto sendo investigado.

O desenvolvimento dos computadores digitais ensejou o aparecimento de uma série de programas que realizam rotações de eixos tanto ortogonais como oblíquas, empregando critérios como o VARIMAX, o QUARTIMAX e outros descritos na literatura especializada (Harman, 1976). Merece ser mencionado que a rotação oblíqua possui dois pontos essenciais:

- A rotação oblíqua permite que os fatores possam mostrar mais corretamente grupos de variáveis inter-correlacionadas, embora tornando as operações matemáticas bem mais complexas.
- No mundo real as dimensões estão correlacionadas umas com as outras e, assim, a rotação oblíqua estará mais próxima da realidade.

Por outro lado, existem algumas desvantagens acentuadas no uso das rotações oblíquas. As communalidades das variáveis não podem ser computadas diretamente a partir dos carregamentos oblíquos, uma vez que a soma dos carregamentos fatoriais ao quadrado pode ser maior do que 1,00. Aparecem ainda, nas rotações oblíquas, dois conjuntos de carregamentos fatoriais, as chamadas matrizes padrão e de estrutura, tornando mais difícil a interpretação dos citados carregamentos fatoriais. Cabe realçar, entretanto, que o objetivo maior da pesquisa é a parcimônia, a identificação de agrupamentos distintos e separados de variáveis, e neste sentido somos mais bem servidos pelas rotações ortogonais (Zeller e Carmines, 1980).

No entanto, como acentua Rummel, 1970, não é necessário escolher entre um ou outro tipo de rotação devido às facilidades proporcionadas pelos modernos programas computacionais à nossa disposição. Pode-se tentar ambos os métodos e escolher um deles. Mais ainda, frequentemente os resultados não irão diferir substancialmente caso se use uma rotação oblíqua ou uma ortogonal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIE/COPPE. *Energia e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Marco Zero, 1986. 174p.

ALMEIDA, Anibal T. e VINE, Edward L. "Advanced monitoring technologies for the evaluation of demand-side management programs". *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol 9, No.3, August 1994, p.1691-1697.

ALQUÉRES, José Luis. "Planejamento e expansão do setor elétrico". *Revista do Serviço Público*, ano 43, vol. 144, 1987. p.136-142.

\_\_\_\_\_ e RESENDE, Eliseu. "Panorama do setor de energia elétrica e da sua nova legislação". *Revista Brasileira de Energia Elétrica*, vol. 3, n. 1, 1993. p. 46-64.

BARBETTA, Pedro Alberto. *Estatística aplicada às ciências sociais*. Editora da UFSC. Florianópolis, SC, 1994, 284 p.

BELLARMINE, G. T. e TURNER, M. C. "Energy conservation and management in the US". *Energy conversion and management*. v 35, n 4, April 1994, p. 363-373.

BHAVARAJU, Murty P.; HEBSON JR., James; WOOD, Willian. "Emerging issues in power system planing". *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, n. 6, June 1989. p.891-898.

BITU, Roberto. "A nova tarifa de energia elétrica". *Revista Eletricidade Moderna*. Março de 1986, p. 8-17.



- 
- \_\_\_\_\_ e BORN, Paulo. *Tarifas de energia elétrica: Aspectos conceituais e metodológicos*. MM Editora Ltda. São Paulo, SP, 1993. 173 p.
- BLAUG, Mark. *Metodologia da economia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/EDUSP, 1983. 385 p.
- CAMARGO, C. Celso de B. "Avaliação técnica e econômica da qualidade do suprimento de energia elétrica ao setor industrial". *Nota técnica GPSE 01/92*. Florianópolis, out. 1992.
- \_\_\_\_\_ *Confiabilidade aplicada a sistemas de potência elétrica*. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, RJ, 1981. 206 p.
- \_\_\_\_\_ *Transmissão de energia elétrica - aspectos fundamentais*. 2.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991. 303 p.
- \_\_\_\_\_ e BORENSTEIN, Carlos Raul. "Alianças estratégicas e de cooperação: Uma alternativa para o setor elétrico". *XIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*. FL/GAE/09, 1995.
- CARAMANIS, M.C.; BOHN, R.E.; SCHWEPPE, F.C. "Optional spot pricing: practice and theory". *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-101, n. 9, Sept. 1992. p.3234-3245.
- CAVES, Douglas W.; HERRIGES, Joseph A.; HAUSER, Philip; WINDLE, Robert. "Load impact of interruptible and curtable rate programs - Evidence from ten utilities". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, n.4, Nov. 1988. p.1757-1763.
- CHAM, M.L. (Chairman). "Economic issues related to assessing load management in electric utilities". *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-102, n.6, June 1983. p.1771-1777.
- CHAO, Hung-po; OREN, Schmucl S.; SMITH, Stephen; WILSON, Robert. "Multilevel demand subscription pricing for electric power". *Energy Economics*, Oct. 1986. p.199-217.
- CODI, Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. *Relatório CODI*. 1.2.11.05.0, ELETROBRÁS, 1992.
- COLLINGRIDGE, David e JAMES, Peter. "Inflexible energy policies in a rapidly-changing market". *Long Range Planning*, vol.24, n.2, April 1991. p.101-107.
- COOLEY, William W. e LOHNES, Paul R. *Multivariate data analysis*. John Wiley & Sons Inc. 1971, New York,USA, 363 p.

- CUNHA, Vera Lúcia Bezerra de Menezes Carneiro. *Racionalidade administrativa na lógica de ação dos dirigentes da empresa estatal: um estudo nas empresas estaduais de Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado em Administração Pública. Universidade Federal de Santa Catarina, jun. 1985. 167p.
- DAVIS, E.J. (Chairman). "Impacts of several major load management projects". *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-10, n.10, Oct. 1982. p.3885-3891.
- DAY, George S. *Estratégia voltada para o mercado*. Rio de Janeiro: Editora Record, 1990. 431 p.
- DEBIER, Jean-Claude; DELÉAGE, Paul e HÉMERY, Daniel. *Uma história da energia*. Editora Universidade de Brasília, 1993. Brasil. 447 p.
- DELGADO, Reynolds M. "Demand-side management alternatives". *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, n.10, Oct. 1985. p.1471-1488.
- DICKSON, Peter R., GINTER, James L. "Market Segmentation, product differentiation and marketing strategy". *Journal of Marketing*, vol. 51, Apr. 1987. p.1-10.
- DILLMAN, Don A. *Mail and telephone surveys : The total design method*. John Wiley & Sons, Inc. 1978, New York, USA, 299 p.
- EPRI REPORT EA/EM-3597, vol. 3. "Demand-side management: technology alternatives and market implementation Methods". *Electric Power Research Institute*. Palo Alto, California, USA, 1984.
- EPRI REPORT RP 2440-2. "Priority Service: Unbundling the quality aspects of electrical power". *Electric Power Research Institute*, Palo Alto, California, USA, 1986.
- EPRI JOURNAL. "The Value of Reliability". March 1986. p.4-11.
- EPRI REPORT RP 2343-4. "Customer response to rate options". *Electric Power Research Institute*. Palo Alto, California, USA, 1991.
- EVERITT, B.S. *An introduction to latent variable models*. Chapman and Hall, 1984, London, UK, 107 p.
- FARUQUI, Ahmad. "Marketing electricity - a military approach". *Long Range Planning*, vol. 20, n.4, Aug. 1987. p.67-77.

- 
- FREEMAN, Edward R. "Managing the strategic challenge in telecommunications". *Columbia Journal of World Business*, Spring 1983. p.8-18.
- FREITAS, Jorge. "Caderno especial Brasil 95, A-8". *Folha de S. Paulo*, São Paulo, 29 de maio de 1994.
- FULMER, Willian E. e GOODWIN, Jack. "Differentiation: begun with the consumer". *Business Horizons*, September-October 1988. p.55-63.
- GARZELNIK, Eugene F. "Service-interruption cost vary widely". *Electrical World*, September 1982. p.123-124.
- GEIR, D.L. e SAMANIEGO, G.M. "Evaluation of load management as an electric system resource". *IEEE/PES 1985 Summer Meeting*, Vancouver, B.C., Canadá, July 14-19, 1985.
- GELLER, E. Scott. "Evaluating energy conservation programs, is verbal report enough?" *The Journal of Consumer Research*, December 1981. p.279-290.
- GELLINGS, Clark W. e SMITH, Willian M. "Integrating demand-side management into utility planning". *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, n.6, June 1989. p.908-918.
- GREEN, Paul E. e TULL, Donald S. *Research for marketing decisions*. Prentice-Hall Inc. 1975, New Jersey, USA, 1976, 785 p.
- GREEN, Paul E. e CARROL, J. Douglas. *Mathematical tools for applied multivariate analysis*. Academic Press, Inc., New York, USA, 375 p.
- HARMAN, Harry H. *Modern factor analysis*. Third Edition Revised. The University of Chicago Press, 1976, Chicago, USA, 487 p.
- HEMION II, Karl E. "Energy usage and the conserver society: review of the 1979 AMA Conference on ecological marketing". *The Journal of Consumer Research*, December 1981. p.339-342.
- HESLOP, Louise A.; MORAN, Lori e COUSINEAU, Amy. "Consciousness in energy conservation behaviour: an exploratory study". *The Journal of Consumer Research*, December 1991. p.299-305.
- HILL, Daniel H.; OTT, Deborah A.; TAYLOR, Lester D. e WALKER, James M. "Incentive payments in time-of-day electricity pricing experiments: the Arizona experience". *The Review of Economics and Statistics*, July 1982. p.59-65.

- HIRST, Erich e GOLDMAN, Charles. "Key issues in integrated resources planning for electric utilities". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 5, n.4, Nov. 1990. p.1105-1111.
- HOBBS, Benjamin F., ROUSE, H. Bradley e HOOG, David T. "Measuring the economic value of demand-side and supply resources in integrated resource planning models". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, n.3, Aug. 1993. p. 979-987.
- JARAMILLO, Pablo e SKOKNIC, Esteban. "Costo social de las restricciones de energia electrica". *Comision de Integración Electrica Regional*, CIER, Montevideo, Uruguay, Mayo de 1981.
- JOHNSON, Richard A. e WICHERN, DEAN W. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Hall, 1992, New Jersey, USA, 642 p.
- KASERMAN, David L. e MAYO, John W. "Advertising and the residential demand for electricity". *Journal of Business*, vol. 58, n.4, 1985. p.399-408.
- KEANE, Dennis M. e GOETT, Andrew. "Voluntary residential time-of-use rates: lessons learned from Pacific Gas and Electric Company's Experiment". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, n.4, Nov. 1988. p.1764-1768.
- KASULIS, Jack J., HUETTNER, David A. e DICKERMAN, Neil J. "The feasibility of changing electricity consumption patterns". *Journal of Consumer Research*, Dec. 1981. p.279-290.
- KERLINGER, Fred N. *Foundations of behavioral research*. Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1986, USA, 670 p.
- \_\_\_\_\_. *Metodologia da pesquisa em ciências sociais*. E.P.U. Editora, 1980, São Paulo, SP, 378 p.
- KWOKA JR., John E. "Market segmentation by price-quality schedules: some evidences from automobiles". *Journal of Business*, vol. 65, n.4, 1992. p. 615-629.
- LAGE, Wilson Fernandes e CARDOSO, Agostinho Faria. "Modulação dinâmica: técnica de gerenciamento de demanda de energia elétrica - experiência da Cemig - potencial de redução e possibilidades de modulação para o sistema interligado". *XI SNPTEE*, RJ/GPL/02, Rio de Janeiro, 1991.
- \_\_\_\_\_. "Gerenciamento de carga de consumidores de transmissão". *XIII SNPTEE*, FL/GOP/06, Camboriú, SC, 1995.

- LE BLANC, Willian J. "Customer attitudes regarding electric outage costs and back-up generation". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, n.4, Nov. 1988. p.1823-1826.
- LEONARD-BARTON, Dorothy. "Voluntary simplicity lifestyles and energy conservation". *The Journal of Consumer Research*, December 1981, p.243-252.
- LESCOUER, B. e GALLAND, J.B. "Tarifs and load management: the french experience". *IEEE Transations on Power Systems*, vol. PWRS-2, n.2, May 1987. p.458-464.
- LIMAYE, Dilip R. "Implementation of demand-side management programs". *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, n.10, Oct. 1985. p.1503-151 .
- LINDEMAN, Richard H.; MERENDA, Peter F.; GOLD Ruth Z. *Introduction to bivariate and multivariate analysis*. Scott, Foresman and Company, 1980, USA, 443 p.
- MASSAUD, A.G. e HERNANDES, J.P.H.G. "Custo de interrupção de fornecimento: Metodologia e resultado de pesquisa direta junto a consumidores". *III Simpósio de especialistas em planejamento da operação e expansão elétrica*. Belo Horizonte, Brasil, SP-17, 1992.
- MASSAUD, A.G.; SCHILLING, M.Th.; HERNANDEZ, J.P. "Electricity restriction costs". *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 141, No.4, July 1994, p.299-304.
- MAXWELL, A.E. *Multivariate analysis in behavioural research*. Chapman and Hall, 1979 London, UK, 163 p.
- MC CONKEY, Dale D. "Planning in a changing environment". *Business Horizons*, September-October 1988. p.64-72.
- MC DONALD, J.R., LO, K.L. e LE, T.Q. "Time-of-day electricity pricing incorporating elasticity for load management purposes". *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 14, n.4, Aug. 1991. p.230-239.
- MC DOUGALL, Gordon W., CLAXTON, John D., RITCHIE, J.R. Brent e ANDERSON, C. Dennis. "Consumer energy research: a review". *The Journal of Consumer Research*, December 1981. p.343-354.
- MILLET, Stephan M. "Implications of a Scenario analysis for energy forecasting". *Planning Review*, May-June 1992. p.38-39.
- MINTZBERG, Henry. *Power in and around organizations*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, USA, 1983., 699 p.

- 
- \_\_\_\_\_. "The effective organization: forces and forms". *Sloan Management Review*, Winter 1991. p.54-67.
- MUNASINGHE, Mohan. *The economics of power systems reliability and planning*. World Bank-John Hopkins University Press, USA, 1979. 323p.
- \_\_\_\_\_. "Engineering-economic analysis of electrical power systems". *Proceedings of the IEEE*, vol. 72, n.4, April 1984. p.424-461.
- \_\_\_\_\_. "Principles of modern electricity pricing". *Proceedings of the IEEE*, Vol. 69, n.3, March 1981. p 332-348.
- NERY, E. e FANTINI, A.O. "Reflexão sobre uma nova abordagem no planejamento da expansão para o desenvolvimento dos sistemas de potência brasileiros". *XI SNPTEE*, RJ/GPL/13, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- OLIVEIRA, Lucia M.B. e MORAES, Walter F.A. "Coleta de dados realizada por questionário enviado pelo correio: método eficaz?" *Revista de administração de empresas*, v.34, n.4, Jul/Ago. 1994, p.85-92, S.Paulo, SP.
- PARK, Rolla Edward e ACTON, Jan Paul. "Large business customer response to time-of-day electricity rates". *Journal of econometrics* 26, 1984. p.229-252.
- POPADIUK, Silvio. "Mudanças sociais: uma abordagem para a conservação de energia elétrica residencial". *Revista de administração de empresas*, v.27, n.3, Jul/Set.1992, p.29-36, S.Paulo, SP.
- PORTER, Michael E. *Estratégia Competitiva - Técnicas para análise das indústrias e da concorrência*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1986. 363 p.
- PROCEL. *Documentação básica do programa nacional de conservação de energia elétrica*. Secretaria executiva do GCCE, 1987, Rio de Janeiro, RJ.
- REES, Ray. *A economia da empresa pública*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1979. 249 p.
- RODRIGUES, Adriano P. e DIAS, Danilo de Souza. *Estado e energia elétrica*. Instituto Liberal, Rio de Janeiro, RJ, 1994, 147 p.
- RUMMEL, R.J. *Applied factor analysis*. Northwestern University press, USA, 1970. 617 p.

- RUNNELS, Jack E. "Impact of demand-side management on T and D - now and tomorrow". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. PWR-2, n.3, Aug. 1987. p.724-729.
- SAMARA, Beatriz Santos e BARROS, José Carlos de. *Pesquisa de marketing-Conceitos e metodologia*. Makron Books do Brasil Editora Ltda, 1994, S.Paulo, SP, 156 p.
- SAMOUILIDIS, Je. "Energy modelling: a new challenge for management science". *Omega*, vol. 8, n.6, 1980. p. 609-621.
- SANGHVI, Arun P. "Economic costs of electricity supply interruptions". *Energy Economics*, July 1982. p.180-198.
- \_\_\_\_\_. "Flexible strategies for load/demand management using dynamic pricing". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 4, n.1, Feb. 1989. p.83-93.
- SANTOS, Mário Fernando de Melo. "Programa nacional de conservação de energia elétrica, PROCEL". *1º Seminário regional sobre conservação de energia elétrica*. Florianópolis, SC, 02/12/94.
- SHECHTMAN, Rafael e BAUM, Moisés. "Análise de custos e benefícios econômicos de programas de gerência pelo lado da demanda". *X SNPTEE*, CTBA/GPL/23, Curitiba, 1989.
- SCHWEPPE, Fred C., MERRIL, Hyde M. e BURKE, William J. "Least-cost planning: issues and methods". *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, n.6, June 1989, p.899-907.
- SECRETARIA DA TECNOLOGIA, Energia e Meio-Ambiente de Santa Catarina. *Balanco energético*, série 1980-1991. Florianópolis, vol. 2, n.2, jul. 1991.
- SHALAN, A.M. "Electric service interruptions: impacts and cost estimation". *Electra-Cigré*, n.127, Dec. 1989. p.100-108.
- SIGAUD, Lygia. "Efeitos sociais de grandes projetos hidrelétricos: as barragens de Sobradinho e Machadinho". In: *Impactos de grandes projetos hidrelétricos e nucleares*. São Paulo: Editora Marco Zero, 1988. 199 p.
- SMITH, Bruce, MC RAS, Marjoric, TABAKIN, Edward. "Issues in forecasting demand-side management programs impacts". *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, n. 10, Oct. 1985. p.1496-1502.
- SOUZA, Jorge de. *Análise fatorial- Métodos Estatísticos nas Ciências Psicossociais*. Volume III. Editora Thesaurus, 1988, 71 p.

- STOLL, Harry G. *Least-cost electric utility planning*. J. Wiley & Sons, Inc., USA, 1989. 782 p.
- SUBRAMANIAN, R.K., BILLINTON, Roy e WACKER, Garry. "Factors affecting the development of an industrial customer damage function". *IEEE Transactions on PAS*, Nov. 1985. p.3209-3215.
- SUDHAKARA, R. B. "Concepts and evaluation of demand side programmes". *International Journal of Global Energy Issues*. V 7, n. 1-2, 1995, p. 48-55.
- SUTHERLAND, RONALD J. "Income distribution effects of electric utility DSM programs". *The Energy Journal*, v 15, n4, 1994, p. 103-118
- TABORS, R.D., SCHWEPPE, F.C. e CARAMANIS, M.C. "Utility experience with real time rates". *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, n.4, Nov. 1988. p.1757-1763.
- TIENDA, Marta e ABORAMPAH, Osei-Mensah. "Energy-related adaptations in low-income nonmetropolitan Wisconsin counties". *The Journal of Consumer Research*. December 1981, p. 265-270.
- TRAIN, Kenneth E.; McFADDEN, Daniel L.; GOETT, Andrew A. "Consumer attitudes and voluntary rate schedules for public utilities". *The Review of Economics and Statistics*, Vol. LXIX, Number 3, August 1987, p.383-391.
- TULL, Donald S. e ALBAUM, Gerald S. *Survey research: a decisional approach*. Intertext Inc., 1973, New York, USA, 244 p.
- VEALL, Michael R. "Time-of-use rates and peak period electricity consumption". *Energy Economics*, oct. 1986. p.257-262.
- WACKER, G. e BILLINTON, R. "Customer cost of electric service interruption". *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, n.6, June 1989. p. 909-938.
- WILSON, R.B. "Overview: service design in the electric power industry". In *Epri Report RP 2801-1*, 1990. *Electric Power Research Institute*, Palo Alto, California, EUA.
- WORKING GROUP 03, Study Committee 37, CIGRÉ. "The potencial impact of demand-side management on future electricity demand". *Electra*, n.138, oct. 1991. p.127-145.
- \_\_\_\_\_, Study Committee 39, CIGRÉ. "Present practices on load forecasting and load management: a survey". *Electra*, n.145, Dec. 1992. p. 69-89.



ZAGUIS, A., BARREIRO, C.J., ASSAD, L.S. e SILVA, W. "O planejamento de mercado na CPFL - estrutura organizacional e experiência adquirida". *XI SNPTEE*, RJ/GL/03, Rio de Janeiro, RJ, 1991.

ZELLER, Richard A. e CARMINES, Edward G. *Measurements in the social sciences*. Cambridge University Press, 1980, New York, USA, 197 p.

\_\_\_\_\_. "Survey of Energy". Suplemento especial de *The Economist*, 18/06/94. London, UK.

\_\_\_\_\_. "The battle for world power". *The Economist*. 07/10/95. London, UK

\_\_\_\_\_. "Twelve scenarios for Southern California Edison". *Planning Review*. May-June 1992. p. 30-37.